

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES

E INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

INSTALACIÓN EN LÍNEA DE SENSORES PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES

AUTOR: JAVIER IGLESIAS DIEZ

TUTOR: ANTONIO AZNAR JIMENEZ

Octubre 2010

La primera vez que agradeces algo cuesta como todo lo que haces por primera vez...

Erase una vez un chico que llegó a la universidad y en aquellos primeros días de desconcierto fue a encontrar la llave para formarse académicamente y lo más importante como persona, en aquel curso "0" corrigiendo aquel examen de aquella compañera de la universidad que estaba en la fila de delante, María, esa desconocida sin la que nunca hubiera podido alcanzar esta meta que tan lejos parecía y que a la vez a su lado tan corta se ha hecho. En esas largas temporadas de exámenes que con su bondad y paciencia ∞ , conseguía en el último momento ese "empujón" anímico tan difícil de conseguir, incluso dando más importancia a mis exámenes que a los suyos propios, a esa ingeniera con tres carreras, a esa chica que lo ha dado todo por mí...

GRACIAS

Mis padres que decir de ellos, que les deberían de dar 10 carreras por haberme aguantado todos esos días malos a lo largo de mi andadura por esta aventura que tanto nos ha costado y que en los momentos en los que la toalla estaba a punto de tocar el suelo ellos la recogían y me la volvían a colgar, esas 2 personas que lo han dado todo por mí y que no cesarán en su lucha por conseguir lo que se propusieron hace ya 25 años...

GRACIAS

A mis abuelos esos que me han consentido de todo y que se que los 4 están muy orgullosos de mí...

GRACIAS

A mi tío Julio y mi primo Rubén por haberme enseñado ese poquito de más que hace falta...

GRACIAS

A mis amigos Meji, Monas, Salva, Abuelos, y alguno que me dejó, por rodar una nueva película cada finde y que seguiremos rodando...

GRACIAS

A todos vosotros Gracias por haberme hecho como soy !!

Resumen

En el presente Proyecto se pretende realizar un prototipo para realizar medidas en tiempo real de diferentes parámetros que determinan la calidad del agua. Para ello se seleccionaron 3 sensores que medirán respectivamente cantidad de oxígeno disuelto, cantidad de carbono y la conductividad del agua. Para poder realizar el estudio se deberá efectuar el montaje eléctrico entre los sensores y los módulos y terminales que controlan dichos sensores, además será necesario realizar la conexión puerto-serie entre dichos terminales y el ordenador. Así mismo se realizará también la instalación del software pertinente para poder realizar en el ordenador la medición en tiempo real de los sensores mientras que se produce el almacenamiento de dichos datos.

Se ha desarrollado el diseño de las cajas de muestras que contendrán la zona de medida de los sensores, para facilitar la medida de las muestras en sitios inaccesibles, a la vez que se confiere cierta seguridad a la zona de medida de los sensores. Por último se ha realizado una serie de medidas de cada sensor para comprobar el correcto funcionamiento, después de haber realizado las calibraciones respectivas.

Abstract

In the present Project it is tried to develop a prototype to measure in real time the different parameters that determine the quality of the water. For it 3 sensors were selected that will measure respectively the amount of dissolved oxygen, carbon and the conductivity of the water. In order to be able to make the study the electrical assembly between the sensors and the modules and terminals will be due to carry out which control these sensors, and in addition it will be necessary to make the connection port-series between these terminals and the computer. Beside this, the installation of the pertinent software will be made to be able to measure the sensors in the computer and in real time whereas the storage of these data is taking place. The design of the boxes of samples has been developed and they will contain the zone of measurement of the sensors, to facilitate the measurement of the samples in inaccessible sites, providing, at the same time certain security to the zone of measurement of the sensors. Finally a series of measures of each sensor has been made to verify the correct operation, after having made the respective calibrations.

ÍNDICE

Resumen	ii
Abstract.....	iii
Capítulo 1: Introducción y Objetivos	2
1.1 Introducción	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Estructura del proyecto	4
Capítulo 2: Medidas de calidad	5
2.1 Introducción a las medidas de calidad	6
2.2 Cantidad de oxígeno disuelto.....	6
2.3 Cantidad de carbono	8
2.4 Conductividad.....	9
Capítulo 3: IQ Sensor Net	12
3.1 Introducción al sensor IQ Net.....	13
3.2 Instalación del sistema IQ Sensor Net.....	13
3.3 Estructura del sistema IQ Sensor Net	14
3.4 Conexiones eléctricas	14
3.5 Terminales/controladores del sistema IQ Sensor Net.....	19
3.5.1 Terminal MIQ/C184 XT.....	19
3.5.1.1 Instalación eléctrica del MIQ/C184XT	21
3.5.2 Terminal MIQ/IF232 (+MIQ/T 2020)	21
3.6 Módulos del sistema IQ Sensor Net	21
3.6.1 MIQ/PS	21
3.6.2 MIQ/CR3	23
3.6.3 MIQ/CHV	25
Capítulo 4: Sensores	27
4.1 Introducción a sensores.....	28

4.2 Sensor de oxígeno	28
4.2.1 Estructura	28
4.2.2 Principios de funcionamiento	29
4.2.3 Características	30
4.2.4 Conexión del sensor	31
4.3 Sensor de carbono	32
4.3.1 Estructura	32
4.3.2 Principios de funcionamiento	33
4.3.3. Características	34
4.3.4 Conexión del sensor	34
4.3.4.1 MIQ/VIS	35
4.4 Sensor de conductividad	36
4.4.1 Estructura	37
4.4.2 Principios de funcionamiento	37
4.4.3 Características	38
4.4.4 Conexión del sensor	39
Capítulo 5: Cajas de muestras	40
5.1 Introducción	41
5.2 Colocación de los sensores	41
5.3 Cajas de muestras	42
5.3.1 Material	42
5.3.2 Geometría	43
5.3.3 Conexiones	46
5.4 Montaje del conjunto	49
Capítulo 6: Calibración	51
6.1 Calibración del sensor de oxígeno	52
6.2 Calibración del sensor de carbono	53

6.2.1 Sensor check y Zero adjustment	55
6.2.2 Comprobación del sensor con una solución estándar	56
6.3 Calibración del sensor de conductividad	57
Capítulo 7: IQ Sensor Net software.....	60
7.1 Introducción	61
7.2 Conexión del IQ Sensor software con la CPU.....	61
7.3 Instalación del IQ Sensor software en la CPU.....	61
7.4 Recepción de datos en la CPU	62
Capítulo 8: Resultados.....	65
8.1 Introducción	66
8.2 Muestra de agua destilada.....	67
8.3 Muestra de agua del grifo	67
8.4 Muestra de agua residual	67
8.5 Muestras para la comprobación del carbono	68
Capítulo 9: Mantenimiento del sistema.....	69
9.1 Mantenimiento del sensor de oxígeno	70
9.1.1 Limpieza del eje y la membrana del sensor.....	70
9.1.2 Cambio del electrolito y la tapa de la membrana	71
9.1.3 Limpieza del electrodo de oro	72
9.1.4 Limpieza del electrodo de plata.....	73
9.2 Mantenimiento del sensor de carbono	74
9.2.1 Limpieza del módulo MIQ/VIS.....	74
9.2.2 Limpieza del sensor	74
9.3 Mantenimiento del sensor de conductividad	75
Capítulo 10: Conclusiones.....	76
10.1 Conclusiones.....	77
Bibliografía.....	78

Anexos.....	80
Anexo A: Catálogo de sondas de oxígeno disuelto de WTW.....	81
Anexo B: Catálogo de sondas de carbono de WTW	83
Anexo C: Catálogo de sondas de conductividad de WTW.....	84
Anexo D: Plano de la caja de muestras del sensor de oxígeno.....	86
Anexo E: Plano de la brida del sensor de oxígeno	87
Anexo F: Plano del cierre inferior del sensor de carbono.....	88
Anexo G: Plano de la tapa del sensor de carbono.....	89
Anexo H: Plano de la base del sensor de carbono	90
Anexo I: Plano de la caja de muestras del sensor de carbono	91
Anexo J: Muestras para el agua destilada	92
Anexo K: Muestras para el agua del grifo	95
Anexo L: Muestras para el agua residual.....	98
Anexo M: Muestras para distintos valores de DQO	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación del oxígeno disuelto con la temperatura.	7
Figura 2: Intervalos de conductividad de soluciones acuosas.	10
Figura 3: Dependencia de la conductividad con la temperatura.....	11
Figura 4: Cable SNCIQ [1].....	18
Figura 5: Conexiones de los módulos para el acoplamiento en pila [1].....	18
Figura 6: Conexiones de proyecto.	19
Figura 7: Terminal MIQ/C184 XT [1].	20
Figura 8: Cable SNCINQ [1].....	22
Figura 9: Conexión del módulo MIQ/PS [1].....	23
Figura 10: Módulo MIQ/CR3 [1].	24
Figura 11: Conexión del módulo MIQ/CHV al sensor de carbono.	25
Figura 12: Conexiones eléctricas del módulo MIQ/CHV [1].	26
Figura 13: Sensor de oxígeno TriOximatic 700 IQ [1].	28
Figura 14: Elementos del sensor TriOximatic 700 IQ [1].....	29
Figura 15: Sensor TriOximatic 700 IQ [2].....	30
Figura 16: Conexión del sensor TriOximatic 700 IQ con el cable SACIQ [1].	31
Figura 17: Sensor CarboVis 700/5 IQ [1].	32
Figura 18: Elementos del sensor CarboVis 700/5 IQ [2].	33
Figura 19: Conexión de los módulos MIQ/VIS y MIQ/CHV [1].	35
Figura 20: Esquema de conexiones entre los módulos MIQ/CHV, MIQ/VIS y el sensor de carbono.....	36
Figura 21: Sensor TetraCon 700IQ [1].....	37
Figura 22: Elementos del sensor TetraCon 700 IQ [1].....	37
Figura 23: Electrodo del sensor TetraCon 700IQ [2].	38
Figura 24: Conexión del sensor CarboVis 700 IQ con el cable SACIQ [1].....	39
Figura 25: Colocación de los sensores de oxígeno y conductividad.	41
Figura 26: Colocación del sensor de carbono.....	42
Figura 27: Materiales de las cajas de muestras.....	42
Figura 28: Conexión original del sensor con el módulo MIQ/CHV.	43
Figura 29: Conexión del sensor con el módulo MIQ/CHV.....	44
Figura 30: Diseño de los sensores de oxígeno y conductividad.....	45
Figura 31: Diseño del sensor de carbono.	45

Figura 32: Válvulas de entrada y salida de los sensores de oxígeno y conductividad. ...	46
Figura 33: Vista superior ampliada de las válvulas de entrada y salida de los sensores de oxígeno y conductividad.....	47
Figura 34: Vista lateral ampliada de las válvulas de entrada y salida de los sensores de oxígeno y conductividad.....	47
Figura 35: Válvulas de entrada y salida del sensor de carbono.....	48
Figura 36: Conexión del sensor de carbono con el módulo MIQ/CHV.....	49
Figura 37: Montaje del conjunto.	50
Figura 38: Terminal/controlador MIQ/C184 XT.....	52
Figura 39: Posición para la calibración del sensor de oxígeno.....	53
Figura 40: Procedimiento a seguir para realizar la calibración [1].....	54
Figura 41: Introducción y posicionamiento de la cámara de medición [1].	55
Figura 42: Distancias de medida del sensor de conductividad.....	57
Figura 43: Réplica de pantalla del terminal MIQ/C184 XT en el ordenador.	62
Figura 44: Elección del modo de transferencia.	63
Figura 45: Elección del puerto.....	63
Figura 46: Transmisión de datos.	64
Figura 47: Desconexión de la cápsula de protección del sensor de oxígeno.....	70
Figura 48: Limpieza de la cápsula del sensor de oxígeno.	71
Figura 49: Desconexión de la cubierta protectora del sensor de oxígeno.	71
Figura 50: Enjuague con agua del grifo de la cabeza del sensor de oxígeno.	71
Figura 51: Llenado de la cápsula del sensor de oxígeno con solución electrolítica.....	72
Figura 52: Montaje de la tapa de la membrana en el eje del sensor de oxígeno.	72
Figura 53: Pulido del electrodo de oro del sensor de oxígeno.	73
Figura 54: Montaje del accesorio de limpieza en el sensor de oxígeno.	73
Figura 55: Desconexión de la tapa del tornillo de la tapa de seguridad del sensor de oxígeno.	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación de la saturación de oxígeno con la calidad del agua.	6
Tabla 2: Potencia (W) de los sensores [3].	15
Tabla 3: Potencia (W) de los módulos MIQ [3].	16
Tabla 4: Potencia (W) de los terminales/controladores [3].	17
Tabla 5: Número de módulos MIQ/PS según el consumo energético [3].	22
Tabla 6: Resultados posibles en Sensor check.	56
Tabla 7: Resultados posibles en Zero adjustment.	56
Tabla 8: Variables de calibración del proyecto.	59
Tabla 9: Disoluciones preparadas.	68



Capítulo 1

Introducción y Objetivos

1.1 Introducción

A lo largo de los últimos años, el rápido desarrollo industrial, la creciente urbanización y el cambio en las prácticas agrícolas, entre otros factores, han provocado no sólo un notable incremento de la demanda de los recursos hidráulicos sino también un significativo deterioro de su calidad.

La degradación del medio hídrico ha sido y sigue siendo un factor limitante para el desarrollo económico pues afecta de forma negativa a sus usos potenciales, desde el abastecimiento público hasta cualquier actividad recreativa, llegando incluso a afectar y modificar los ecosistemas.

Puede afirmarse que, en general, el grado de contaminación de las aguas está íntimamente relacionado con alguna o algunas de las causas siguientes:

- Aguas residuales municipales no tratadas o sólo parcialmente tratadas.
- Vertidos industriales o de origen agropecuario.
- Contaminación de origen difuso (escorrentías, aguas de tormentas, transporte por vía atmosférica, etc.).

Los desechos líquidos, de origen tanto doméstico, como urbano e industrial, pueden representar un peligro higiénico-sanitario y un daño estético y económico importantes. Es sabido que una evacuación correcta de las aguas residuales se traduce, de hecho, en un descenso de la incidencia de las enfermedades. Así pues, la existencia y el mantenimiento de un sistema de recogida y evacuación de aguas residuales adecuado y funcional deben ser condiciones primordiales para el saneamiento ambiental y el bienestar de la población.

La aprobación de la Directiva Comunitaria 91/271/CEE de mayo de 1991 sobre el Tratamiento de las Aguas Residuales, cuyo objetivo es proteger el medio ambiente de los efectos adversos de los vertidos, establece la necesidad de estudio y tratamiento de los vertidos urbanos e industriales.

1.2 Objetivos

El objetivo del presente proyecto consiste en la instalación en línea de sensores industriales para la monitorización de caudales pequeños, con el propósito de detectar posibles aguas residuales en empresas. Para ello se instalarán en línea sensores de oxígeno disuelto, conductividad y carbono orgánico total, conectados a la CPU de un ordenador para la adquisición de los datos en tiempo real.

Además junto con el desarrollo de la instalación, se detallará el manual de operación y mantenimiento de los sensores.

1.3 Estructura del proyecto

El proyecto está dividido en 10 capítulos, el primero de los cuales es esta introducción. En el segundo capítulo, denominado medidas de calidad, se presentan los diferentes parámetros de análisis, cantidad de oxígeno, carbono y conductividad. En el capítulo tercero se presenta el sistema IQ Sensor Net, al que van conectados los sensores gracias a una serie de módulos, los cuales permiten las lecturas de dichos sensores. En el capítulo cuarto se describen los sensores utilizados, su estructura, funcionamiento y conexiones. El capítulo quinto se dedica al diseño de las cajas de muestras. En el capítulo sexto se explica cómo calibrar los sensores y en el séptimo se trata la conexión de dichos sensores con el ordenador a través del IQ Sensor Net software. En el capítulo octavo se describen las muestras experimentales tomadas. El capítulo noveno describe el mantenimiento a seguir con los sensores. El capítulo décimo está reservado a las conclusiones del proyecto. Por último la bibliografía utilizada en el desarrollo del proyecto y los anexos, en los cuales se presentan las diferentes características de los sensores presentadas en los catálogos y los planos de las cajas de muestras.



Capítulo 2

Medidas de calidad

2.1 Introducción a las medidas de calidad

La determinación de los parámetros de calidad de las aguas es imprescindible para conocer el estado de calidad del agua y por lo tanto su potencial uso posterior.

Las medidas de calidad se pueden realizar de manera continua o discontinua. En los métodos discontinuos, las muestras individuales se mantienen como entidades separadas en recipientes individuales, donde tienen lugar las diferentes etapas del proceso analítico. En cambio en los sistemas continuos, como es en este proyecto, la muestra se incorpora a un flujo de líquido, donde es sometida a una serie de procesos para realizar su análisis.

2.2 Cantidad de oxígeno disuelto

La magnitud de medida oxígeno disuelto (OD) indica la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto físicamente en la fase acuosa en mg/L (ppm), cerca de diez moléculas por un millón de partes de agua, se encuentra disuelta en el agua. Aunque las moléculas del agua contienen un átomo de oxígeno, este oxígeno no está disponible para los organismos acuáticos que viven en nuestras aguas.

La concentración de oxígeno disuelto se puede expresar también en términos del por ciento de saturación de oxígeno en agua, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Calidad	% Saturación de oxígeno
	(a la temperatura y salinidad prevalecientes en el ambiente)
Buena	90
Regular	89 - 75
Dudosa	74 - 50
Contaminada	< 50

Tabla 1: Relación de la saturación de oxígeno con la calidad del agua.

La cantidad de oxígeno presente en el agua es afectada por la temperatura, la salinidad y la presión atmosférica. La concentración de oxígeno en agua es inversamente proporcional con la temperatura, como se aprecia en la Figura 1. Si elevamos la temperatura del agua a su punto de ebullición generamos una solución libre de oxígeno. Podemos generalizar que a cualquier presión atmosférica, aguas frías saturadas con oxígeno contienen una mayor cantidad de oxígeno disuelto que aguas tibias o calientes. No obstante, la relación inversa entre temperatura y la concentración de oxígeno disuelto puede verse alterada en ambientes naturales por efecto de los procesos de fotosíntesis y respiración.

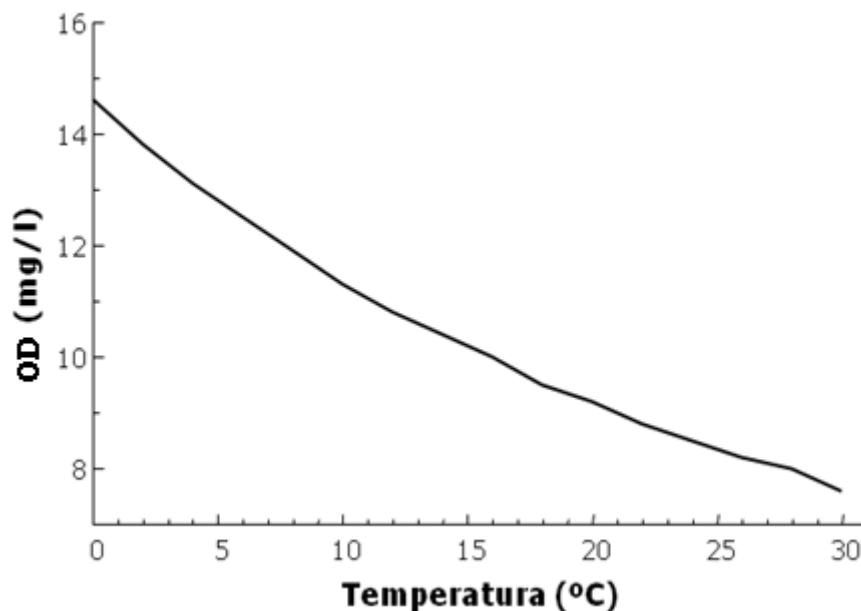


Figura 1: Relación del oxígeno disuelto con la temperatura.

El oxígeno disuelto es un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos vivos. Además, el oxígeno disuelto es importante en los procesos de: fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica.

Aunque no existe una concentración mínima de oxígeno disuelto que cause efectos fisiológicos adversos sobre la salud humana, si existe una limitación en cuanto a la cantidad de oxígeno que se requiere para sostener la vida de los peces y la fauna del plankton. En general se acepta que una concentración de 5 mg/L es adecuada para estos fines, en tanto que concentraciones inferiores a 3 mg/L pueden ser letales.

Las mediciones de oxígeno disuelto en un proceso industrial sirven para controlar la concentración de oxígeno, optimizar el proceso y el rendimiento, además de para controlar directamente la seguridad de una planta.

La medición confiable y continua de oxígeno disuelto en línea juega en varias áreas de la gestión de recursos acuíferos y aguas residuales un papel cada vez más importante. La disponibilidad de mediciones de valores de concentraciones precisos y en tiempo real es una necesidad imprescindible para el monitoreo y el control dinámico de los procesos para que aseguren operaciones eficientes.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, la medición precisa y continua de la concentración de oxígeno disuelto es un requisito básico para el funcionamiento óptimo y sin problemas. Sólo el uso de instrumentos en línea precisos y confiables pueden garantizar una operación eficiente y un ahorro de energía en el control del proceso.

2.3 Cantidad de carbono

El carbono está integrado en el agua como carga orgánica. Para describir la contaminación orgánica del agua, se utilizan los parámetros DQO (Demanda química de oxígeno), COT (Carbono orgánico total), COD (Carbono orgánico disuelto) o DBO (Demanda biológica de oxígeno).

La DQO es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico, su peculiaridad es que no diferencia entre materia biodegradable y el resto y por lo tanto no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.

El COT contiene todas las sustancias que pueden ser disueltas por la oxidación química. Uno de sus usos es servir de indicador del grado de limpieza de los equipos de fabricación de medicamentos.

Si el DQO y COT son altos, significa que los compuestos orgánicos están reducidos (alta energía disponible utilizada por los microorganismos para eutrofizar el agua, hay falta de oxígeno) y si es baja los compuestos orgánicos están oxidados (baja energía disponible).

El valor de la DBO informa sobre la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.

Todos estos parámetros requieren de complejos procesos de digestión e instrumentos adecuados para la determinación analítica en línea. La manera más sencilla de determinar la carga orgánica, la cual se utiliza en este proyecto por medio de la sonda de carbono, es la determinación del coeficiente de absorción espectral (CAE).

El CAE es un parámetro que relaciona, la intensidad de atenuación de la luz con la contaminación orgánica. Para cada sustancia se utiliza un factor de correlación distinto respecto al contenido de carbono.

En medios con escasas variaciones, esta correlación es sumamente indicativa de la composición, color, contenido de sólidos y las características ópticas vinculadas a esas propiedades. No obstante, en las aguas residuales hay muchas sustancias con características ópticas sumamente diferentes. Por tanto, con frecuencia la contaminación es representada en forma insuficiente si se mide con solo una longitud de onda, por este motivo como se explica en el apartado 4.3.2 se utiliza un sensor espectrométrico.

2.4 Conductividad

La conductividad eléctrica es un parámetro acumulativo de la concentración de iones de una solución. Mientras más sales, ácidos o bases se encuentren disociados en una solución, mas alta será su conductividad. Al ser los iones de las sales disueltas la causa de la conductividad en las aguas brutas y residuales, con ayuda de este parámetro es posible determinar tanto la concentración de sal en aguas residuales como el grado de pureza del agua. Se mide en Siemens/cm y esta unidad es el producto de la conductancia de la solución y la constante de geometría de la celda conductimétrica.

Depende en gran medida en la cantidad de materia sólida disuelta en el agua. El agua pura, como el agua destilada, puede tener muy poca conductividad y en contraste, agua de mar tendrá una conductividad mayor, como se puede apreciar en la Figura 2.

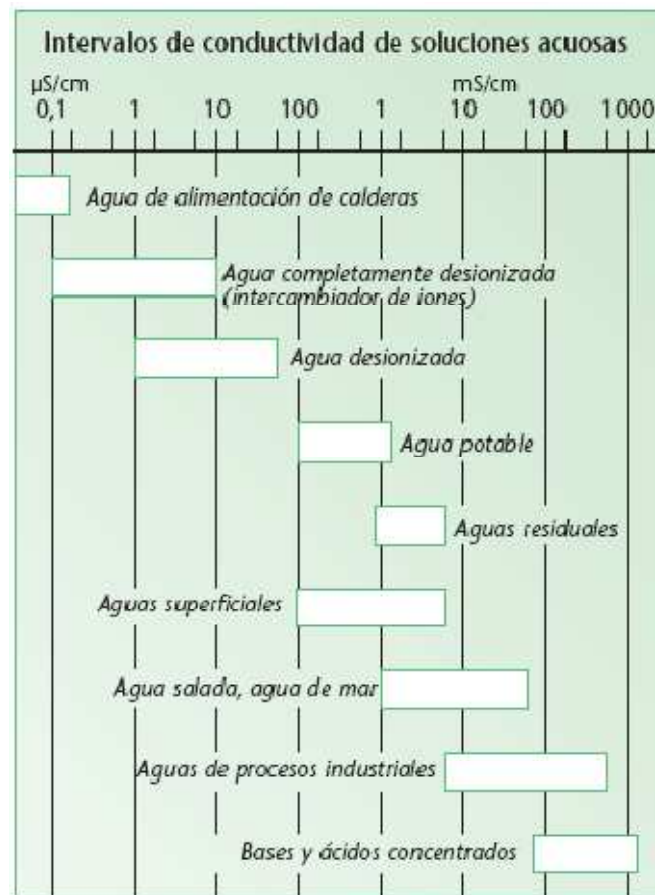


Figura 2: Intervalos de conductividad de soluciones acuosas.

En la mayoría de las soluciones acuosas, cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad.

La conductividad es un parámetro de medición reconocido e imprescindible para el análisis de aguas residuales, brutas y el análisis de procesos industriales. En la producción industrial la conductividad se utiliza por ejemplo en el control de procesos en las industrias farmacéutica y de alimentación.

La conductividad de una solución depende en gran medida de su temperatura. Por lo tanto, para poder comparar resultados, es necesario que los valores de medición estén basados en una temperatura de referencia estándar (25°C). Por compensación de

temperatura se entiende la conversión de un valor de conductividad (χ_D) medido en un medio, a una temperatura cualquiera, al valor basado en la temperatura de referencia (χ_x) (25°C).

El valor de conductividad eléctrica de la mayoría de las soluciones acuosas cambia casi linealmente con la temperatura, como se aprecia en la Figura 3. En estos casos, la influencia de la temperatura puede compensarse muy bien con una función lineal de corrección cuyo coeficiente sea por ejemplo 2 %/K para aguas residuales.

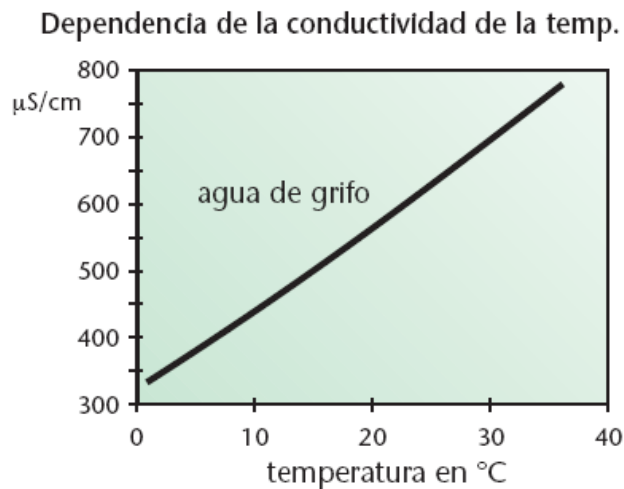


Figura 3: Dependencia de la conductividad con la temperatura.

Cuando existe una relación no lineal entre la conductividad y la temperatura, es decir, cuando el coeficiente mismo depende de la temperatura, es posible por lo general describir dicha dependencia con un polinomio.



Capítulo 3

IQ Sensor Net

3.1 Introducción al sensor IQ Net

IQ Sensor Net es un sistema modular de medición multiparamétrico para mediciones precisas en línea. Este dispositivo puede medir in situ parámetros como el pH, redox, oxígeno, temperatura, turbidez y sólidos suspendidos hasta parámetros de nutrientes como el amonio, el nitrato y la DQO.

El sistema de medición IQ Sensor Net tiene unas características particulares de seguridad para el funcionamiento a prueba de fallos, las cuales son:

- Protección integrada contra rayos (sobrecargas de mayor y menor intensidad).
- Estado programable en caso de error.
- Reinicio automático en caso de fallo en el suministro eléctrico.
- Software para almacenar, conservar, documentar y restaurar la configuración del sistema.

Además los sensores con interfaz digital permiten:

- Amplias distancias entre los sensores y entre el sensor y el sistema de medición.
- Transferencia de señales inmune a interferencias.
- Los datos de calibración se almacenan en el sensor y la calibración puede realizarse en el laboratorio.

La elección de este dispositivo, IQ Sensor Net sistema 184 XT, es debido a que el sistema 184 XT es particularmente apropiado para plantas convencionales en las cuales el usuario quiera reunir las ventajas de la tecnología de sensores digitales con la simplicidad de los instrumentos convencionales.

3.2 Instalación del sistema IQ Sensor Net

El sistema de medición IQ Sensor Net presenta una sencilla instalación mediante:

- Tecnología de conexión de dos hilos.
- Conexión tipo plug & play para el número de sensores IQ que se deseen instalar.
- Fácil expansión del sistema con la simple adición de módulos o sensores.
- Instalación de los componentes donde se necesiten, por ejemplo, salidas analógicas cerca del controlador lógico programable o directamente en la sala.

3.3 Estructura del sistema IQ Sensor Net

El sistema IQ Sensor Net al ser un sistema modular, las principales unidades funcionales del sistema de medición se distribuyen en los componentes que pueden ser compilados por separado para aplicaciones especiales.

Las principales unidades funcionales del sistema incluyen:

- Terminal / Controlador.
- Módulos MIQ.
- Sensores IQ.
- Entradas (entradas de corriente).
- Salidas (contactos de relé, salidas de corriente, válvula de salida.).
- Terminales adicionales (PC).

Además la estructura modular y la comunicación digital del sistema posibilitan:

- Combinaciones analógicas y digitales.
- Clara presentación grafica de los valores de medición.
- Transferencia, almacenamiento y evaluación digitales de los valores de medición.

3.4 Conexiones eléctricas

A la hora de realizar la instalación eléctrica, lo primero que se debe hacer es un cálculo de la potencia eléctrica que se va a generar, y la potencia eléctrica que van a

consumir los componentes utilizados. Para ello se debe consultar la Tabla 2 de consumos en [W] de todos los sensores, que puede soportar el sistema IQ Sensor Net 184 XT.

Sensores IQ		
Modelo	Descripción	Consumo de energía / W
Sensolyt® 700 IQ (SW)	Montaje para pH/ORP	⇒ 0.2
TriOxmatic® 700 IQ (SW)	Sensor D.O.	⇒ 0.2
TriOxmatic® 701 IQ	Sensor D.O.	⇒ 0.2
TriOxmatic® 702 IQ	Sensor D.O.	⇒ 0.2
FDO® 700 IQ (SW)	Sensor óptico para D.O.	⇒ 0.7
TetraCon® 700 IQ (SW)	Sensor de conductividad	⇒ 0.2
VisoTurb® 700 IQ	Sensor de turbidez	⇒ 1.5 (s/ultrasónico ⇒ 0.3)
VISolid® 700 IQ	Sensor de sólidos en suspensión	⇒ 1.5
VARION®Plus 700 IQ	Sensor doble para amonio y nitrato (ISE)	⇒ 0.2
AmmonoLyt®Plus 700 IQ	Montaje para amonio (ISE)	⇒ 0.2
NitraLyt®Plus 700 IQ	Montaje para nitrato (ISE)	⇒ 0.2
NitraVis® 700/X IQ (TS)	Sonda óptica para nitrato con módulo de conexión MIQ/VIS	⇒ 7.0
CarboVis® 700/5 IQ (TS)	Sonda óptica para COD/TOC/DOC/BOD/SAC con módulo de conexión MIQ/VIS	⇒ 7.0
NiCaVis® 700/5 IQ	Sonda óptica para nitrato y COD/ TOC/DOC/BOD/SAC con módulo de conexión MIQ/VIS	⇒ 7.0

Tabla 2: Potencia (W) de los sensores [3].

De todos los sensores posibles mostrados en la Tabla 2, sólo se utilizan los sensores TriOximatic 700 IQ, TetraCon 700 IQ, y CarboVis 700 IQ, de los cuales trata el capítulo 4, por lo tanto el requerimiento de potencia por parte de los sensores es de:

$$-0,2 \text{ (TriOximatic 700 IQ)} - 0,2 \text{ (TetraCon 700 IQ)} - 7 \text{ (CarboVis 700 IQ)} = -7,4 \text{ W} \quad (\text{ec. 1})$$

En la Tabla 3 se muestran los consumos de todos los módulos que se pueden instalar en el sistema IQ Sensor Net 184 XT.

Módulos de salida analógica		
Modelo	Descripción	Consumo de energía / W
	Cada salida de mA y cada relé con un módulo se considera como 1 canal	
MIQ/CR3	Módulo IQ / de relé 3. Con 3 salidas analógicas y 3 relés cada uno	⇒ 3.0
MIQ/C6	Módulo IQ / de corriente 6. Con 6 salidas analógicas.	⇒ 3.0
MIQ/R6	Módulo IQ / de relé 6. Con 6 salidas analógicas.	⇒ 1.5
MIQ/CHV PLUS	Módulo IQ/ válvula para cabezal de limpieza automática	⇒ 1.0
Módulos de salida digital		
Modelo	Descripción	Consumo de energía / W
MIQ/MC(-A)(-RS)	Módulo IQ con RS 232 para módem	⇒ 1.5
MIQ/(MC)(-A)-PR	Módulo IQ con conexión PROFIBUS-DP	⇒ 3.0
MIQ/(MC)(-A)-MOD	Módulo IQ con conexión MODBUS RTU / RS 485	⇒ 3.0
MIQ/Blue PS	Módulo IQ para conexión inalámbrica con el sistema IQ SENSOR NET	⇒ 0.6
MIQ/IF232	Módulo IQ / terminal de software	⇒ 0.2
Módulo de entrada mA		
Modelo	Descripción	Consumo de energía / W
MIQ/IC2**	Módulo IQ / corriente de entrada, con 2 entradas para señales de 0 / 4 - 20 **cada entrada ocupada se cuenta como un sensor IQ	⇒ 0.2*
MIQ/JB	Módulo IQ / caja de conexión	⇒ 0.0 (módulo no activo)
MIQ/JBR	Módulo IQ / caja repetidora	⇒ 0.2
Módulos de corriente		
Modelo	Descripción	Consumo de energía / W
MIQ/PS	Módulo IQ / corriente de amplio rango (100 - 240 VAC)	18 ⇒
MIQ/24V	Módulo IQ / de 24 V para voltaje de 24 VAC o 24 VDC	18 ⇒

Tabla 3: Potencia (W) de los módulos MIQ [3].

De todos los módulos posibles mostrados en la Tabla 3, sólo se utilizan los módulos MIQ/CR3, MIQ/CHV y MIQ/PS, por lo tanto el requerimiento de potencia por parte de los sensores es de:

$$\text{Potencia consumida: } -3 \text{ (MIQ/CR3)} - 1 \text{ (MIQ/CHV)} = -4 \text{ W} \quad (\text{ec. 2})$$

$$\text{Potencia suministrada: } + 18 \text{ W (MIQ/PS)} \quad (\text{ec. 3})$$

$$\text{Potencia suministrada total: } + 18 \text{ W} - 4 \text{ W} = 14 \text{ W} \quad (\text{ec. 4})$$

En la Tabla 4 se muestran los consumos de todos los terminales/controladores que se pueden instalar en el sistema IQ Sensor Net 184 XT.

Tipo	Descripción	Potencia suministrada/ consumida/vatios
	Sistema Terminal / Controlador 184 XT	
MIQ/C184 XT	Terminal / Controlador para el Sistema 184 XT	→ 3,0
MIQ/T2020	Terminal	→ 3,0
MIQ/T2020 PLUS	Al igual que el MIQ/T2020; con la adición de una función de controlador redundante	→ 3,0
MIQ/IF232 + MIQ/T2020	Módulo IQ / Terminal de software	→ 0,2

Tabla 4: Potencia (W) de los terminales/controladores [3].

De todos los terminales/controladores posibles mostrados en la Tabla 4, sólo se utilizan los módulos MIQ/C184 XT, MIQ/IF232 (+MIQ/T 2020), por lo tanto el requerimiento de potencia por parte de los sensores es de 3,2 W.

$$-3 \text{ (MIQ/C184 XT)} - 0,2 \text{ (MIQ/IF 232 (+MIQ/T 2020))} = -3,2 \text{ W (ec. 5)}$$

La suma total de potencia consumida en el sistema de estudio es igual a:

$$-7,4 \text{ W (Sensores)} + 14 \text{ W (Módulos)} - 3,2 \text{ W (Terminales/Controladores)} = 3,4 \text{ W (ec. 6)}$$

Los motivos para usar menos componentes son principalmente:

- Todos los componentes no cumplen los requisitos para el estudio.
- Espacio limitado, ya que laboratorio no es de dimensiones muy grandes.
- Factor económico, todos los sensores y demás componentes harían una suma de dinero considerable.

Otro factor a tener en cuenta en el cálculo de potencias, son las pérdidas que se producen en el cableado. Si la suma total de cable usado en la instalación supera los 400 m, habría que tener en cuenta en el cálculo de potencia consumida una suma adicional de 5W. Debido a que en este proyecto, no se superan los 400 m de longitud, las pérdidas en el cableado no se tendrán en cuenta.

Las conexiones eléctricas que se van a tener en el sistema van a ser de dos tipos:

- Mediante el cable SNCIQ, como se aprecia en la Figura 4.

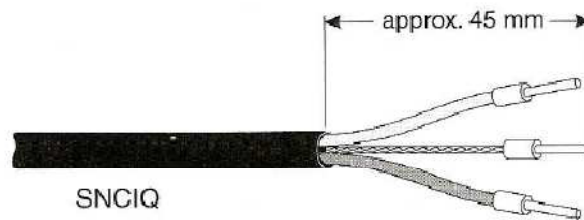


Figura 4: Cable SNCIQ [1].

- Mediante el acoplamiento en pila de los módulos, como se puede observar en la Figura 5.

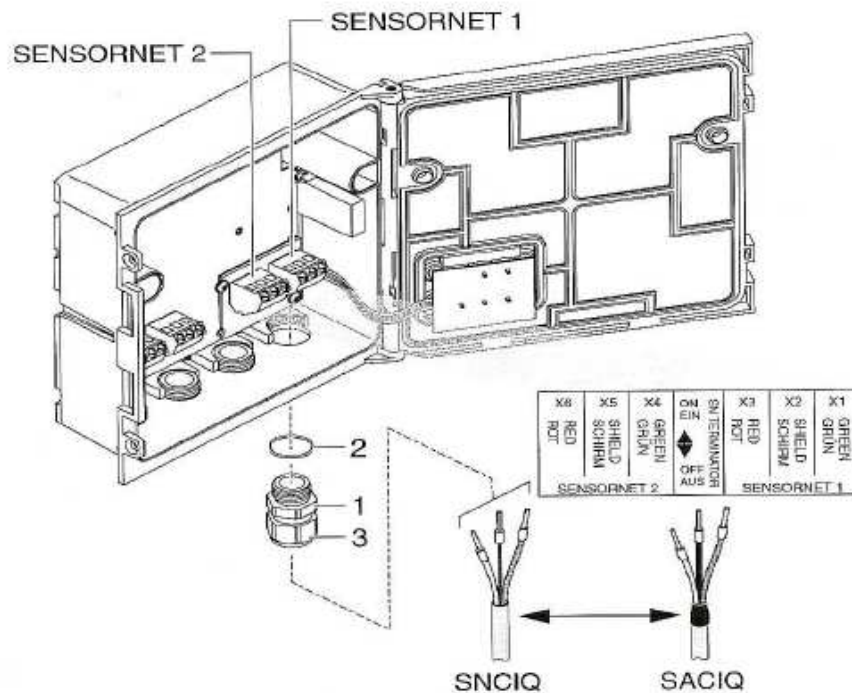


Figura 5: Conexiones de los módulos para el acoplamiento en pila [1].

Cada módulo tiene una fila de bornes en su interior. Los dos bornes que se observan en la Figura 5, designados como SENSORNET 1 y SENSORNET 2, están siempre reservados para la conexión de los nuevos componentes de IQ SENSORNET.

De acuerdo con los tipos de conexiones, en la configuración del sistema se van a tener dos montajes básicos para conectar los módulos MIQ, como se observa en la Figura 6.

- Stack Mounting (Montaje en pila): permanente conexión mecánica y eléctrica. Las cajas de los módulos MIQ están permanentemente montados unos sobre otros, formando una pila. El cableado entre módulos no es necesario.
- Distributed Mounting (Montaje distribuido): la conexión eléctrica de los módulos es vía cable, mediante el cable SNCIQ se pueden conectar los módulos entre sí.

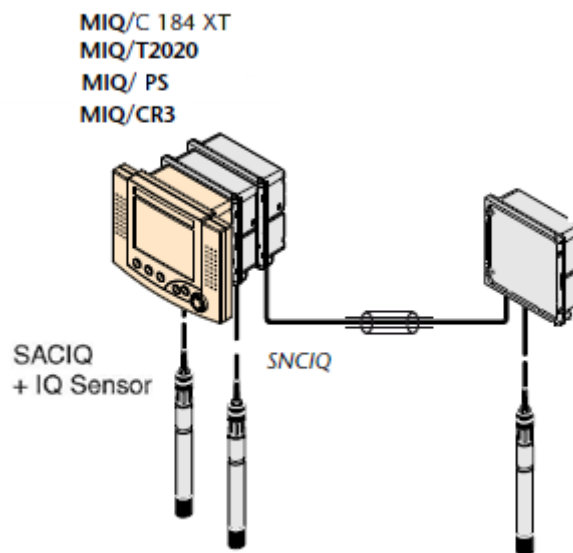


Figura 6: Conexiones de proyecto.

3.5 Terminales/controladores del sistema IQ Sensor Net

3.5.1 Terminal MIQ/C184 XT

La terminal MIQ/C184 XT combina las funciones de control y terminal. Es un componente básico del sistema 184 XT y, por lo tanto, siempre estará presente en el sistema. La terminal/controlador está conectado con el sistema de acoplamiento en la tapa frontal libre de un módulo MIQ, como se observa en la Figura 7.

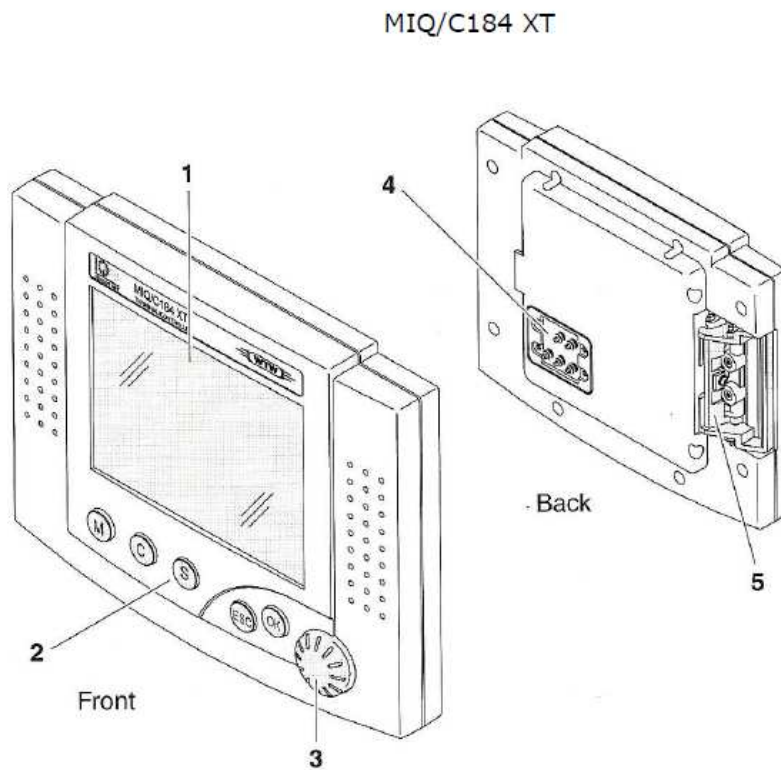


Figura 7: Terminal MIQ/C184 XT [1].

En la Figura 7 se pueden apreciar los siguientes elementos:

- Pantalla grafica: 1.
- Panel de control: 2.
- Mando giratorio: 3.
- Conexiones de acoplamiento: 4.
- Mecanismo de acoplamiento: 5.

Desde la terminal MIQ/C184 XT se pueden visualizar todos los datos obtenidos de nuestros sensores IQ, esta información se refleja en la pantalla frontal del terminal, además desde el terminal/controlador se pueden configurar todas las opciones del sistema como por ejemplo las alarmas, magnitudes de medida, lista de sensores y módulos.

3.5.1.1 Instalación eléctrica del MIQ/C184XT

La conexión entre el sensor y el MIQ módulo se realiza a través del cable de conexión de sensores SACIQ. El cable de conexión de sensores IQ está conectado con el enchufe del conector de la cabeza del sensor IQ roscado a través de un zócalo de forma que la conexión sea impermeable.

3.5.2 Terminal MIQ/IF232 (+MIQ/T 2020)

El sistema IQ Sensor Net 184 XT digital precisa del terminal/controlador MIQ/IF 232 para conexión de un PC mediante la interfaz RS 232 del ordenador incluyendo el terminal de software apropiado de WTW (MIQ/T 2020).

Las funciones del terminal MIQ/T 2020 PC son:

- La conexión en línea para poder realizar la transferencia de los datos de medición actuales al PC, mediante archivos Excel.
- La transferencia en línea de los datos de medición guardados en memoria al PC.
- La lectura de los valores de medición almacenados en el modo fuera de línea.

3.6 Módulos del sistema IQ Sensor Net

Los módulos MIQ son varios, y tienen diferentes funciones. Todos los módulos tienen características comunes en estructura y montaje, pero cada uno tiene después una función específica.

Para el desarrollo de este proyecto se han utilizado los siguientes módulos: MIQ/PS, MIQ/CR3, MIQ/CHV.

3.6.1 MIQ/PS

La utilidad principal del modulo MIQ/PS es la de suministrar la energía eléctrica al IQ Sensor Net. El número de módulos que hay que usar para las diferentes

instalaciones de IQ Sensor Net se consigue calculando la potencia que consumen todos nuestros componentes y después mirando la Tabla 5. De acuerdo con la potencia consumida en nuestro proyecto que es de 3,4 W, (ec. 6), se necesitará solo un único módulo MIQ/PS.

Consumo energético en Watts	Número de módulos de corriente
MIQ/PS	
≤ 18 Watt	1 unidad
18 - 36 Watt	2 unidades
36 - 54 Watt	3 unidades
55 - 72 Watt	4 unidades
73 - 90 Watt	5 unidades
91 - 108 Watt	6 unidades

Tabla 5: Número de módulos MIQ/PS según el consumo energético [3].

La principal diferencia de este módulo con el resto de módulos, es la conexión con la red. Al cable SNCIQ le tenemos que cortar el cable de tierra o cable de protección, como se observa en la Figura 8, ya que la protección de este módulo nos lo suministra en caso de cortocircuito, los interruptores automáticos del laboratorio.

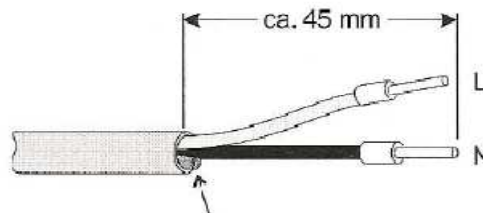


Figura 8: Cable SNCIQ [1].

La conexión del módulo MIQ/PS quedaría de la forma que se observa en la Figura 9.

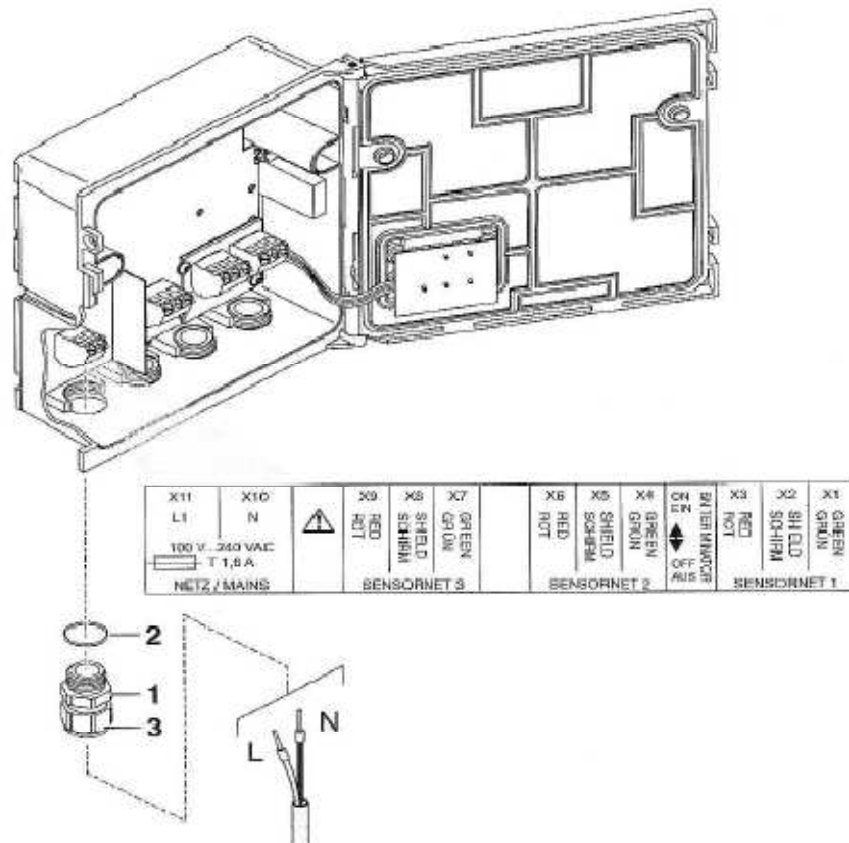


Figura 9: Conexión del módulo MIQ/PS [1].

3.6.2 MIQ/CR3

El módulo de salida de corriente, el MIQ/CR3 tiene tres salidas, como se puede observar en la Figura 10.

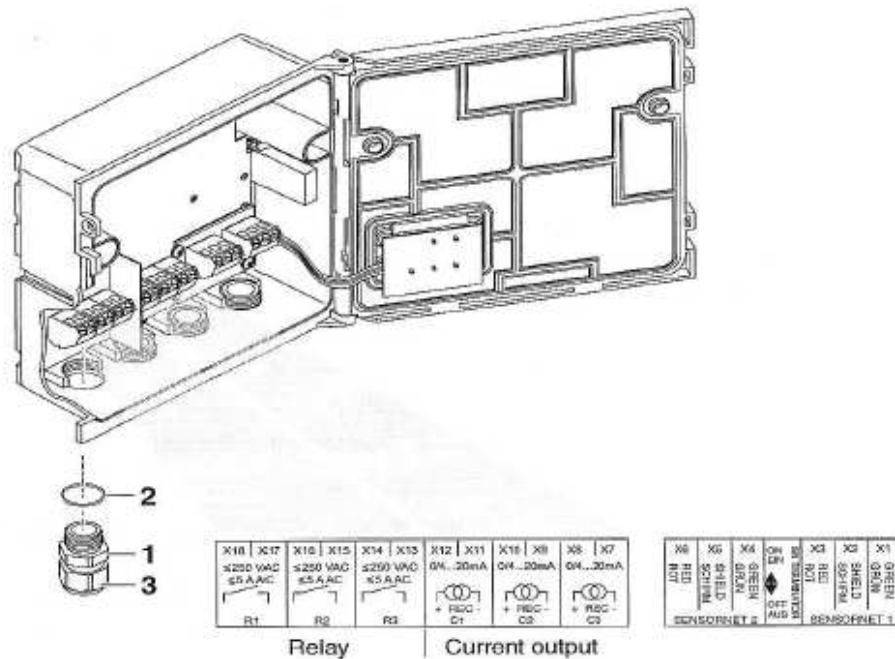


Figura 10: Módulo MIQ/CR3 [1].

Las funciones que tienen los relés de salida del MIQ/CR3 son:

- Supervisión del sistema.
- Supervisión del sensor.
- Indicador de limitación.
- Salida de frecuencia.
- Ancho de pulso de salida.
- Limpieza.
- Contacto de alarma.
- Control manual.

Simplificando se puede decir que las funciones más importantes del relé son supervisión, indicador de limitación y salida proporcional.

Cuando se utiliza un relé de supervisión, el relé actúa abriendo y cerrando el contacto y se produce cuando se producen ciertos estados. Esta función es la adecuada, para el control de errores en el sistema.

Con el indicador de limitación, el relé conmuta cuando un determinado valor límite se excede o queda por debajo del rango permitido.

En el caso de la salida proporcional, un relé conmuta cíclicamente en un determinado rango de valor de medición (rango proporcional). Al mismo tiempo, el relé conmuta con:

- Duración de la operación que corresponde al valor medido.
- Frecuencia de conmutación.

Las funciones que tienen las salidas de corriente:

- Contador.
- Valor fijo de corriente.
- Controlador PID.

3.6.3 MIQ/CHV

El MIQ/CHV proporciona una válvula conmutable de aire comprimido para el funcionamiento del sistema de limpieza del sensor de carbono, cuyo montaje en el sensor se puede apreciar en la Figura 11.

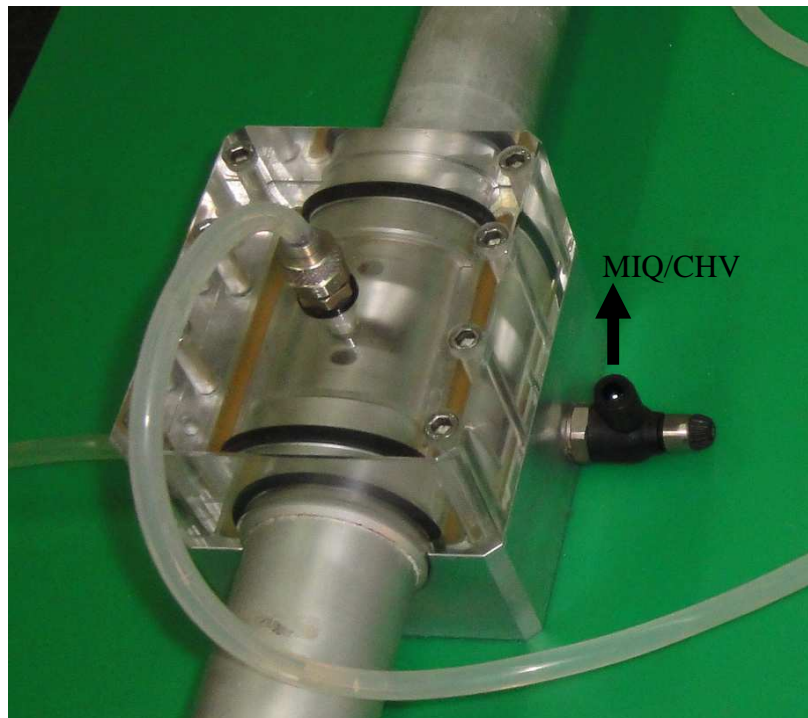


Figura 11: Conexión del módulo MIQ/CHV al sensor de carbono.

Este aire comprimido es suministrado por un compresor que se encuentra en el exterior del laboratorio junto al tanque de almacenamiento de las aguas residuales. La presión que lleva el circuito es variable, puede oscilar entre 4 a 7 bares. La válvula está controlada a través de un conmutador externo, MIQ/VIS, cuya función se explica en el apartado 3.3.4.1.

Las conexiones eléctricas del módulo MIQ/CHV se pueden observar en la Figura 12.

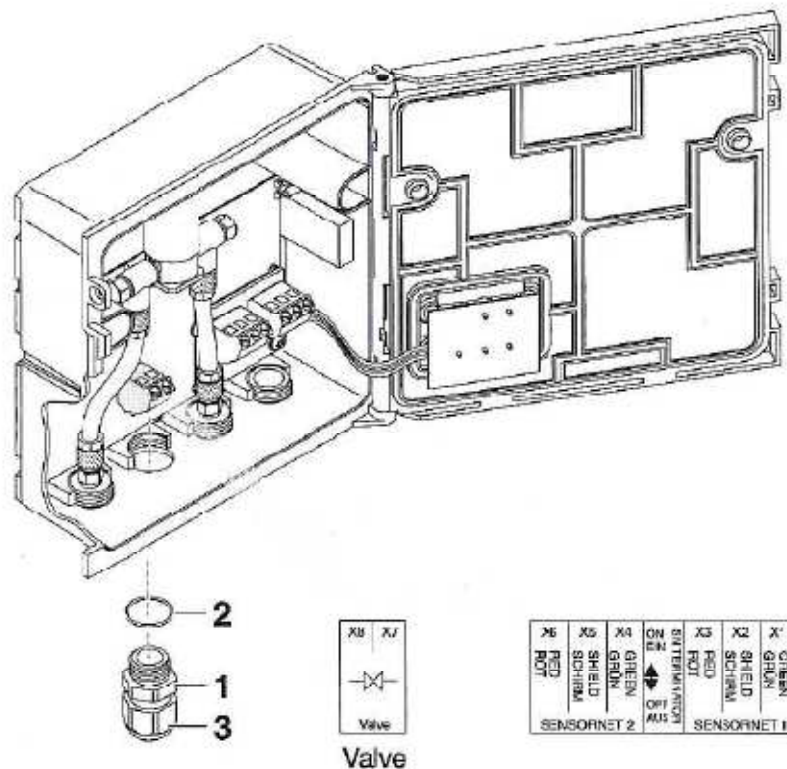


Figura 12: Conexiones eléctricas del módulo MIQ/CHV [1].

Como se puede observar en la Figura 12, la principal diferencia con el resto de módulos del IQ Sensor Net, es la válvula, por lo demás tiene las conexiones SENSORNET 1 y SENSORNET 2 para la conexión de nuevos componentes.



Capítulo 4

Sensores

4.1 Introducción a sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Los parámetros de instrumentación utilizados en el proyecto son el oxígeno disuelto, el carbono y la conductividad.

Los sensores pueden estar conectados a un ordenador para obtener ventajas, como ocurre en el desarrollo de este proyecto, los sensores están conectados a una CPU para poder actuar desde el ordenador con el módulo MIQ/C184 XT y además proporcionar mayor capacidad de almacenamiento.

4.2 Sensor de oxígeno

La función de la sonda de oxígeno es la medición y regulación del oxígeno disuelto (OD) en las distintas aguas. El sensor utilizado es el sensor TriOxmatic 700 IQ, cuyas dimensiones en milímetros se observan en la Figura 13.

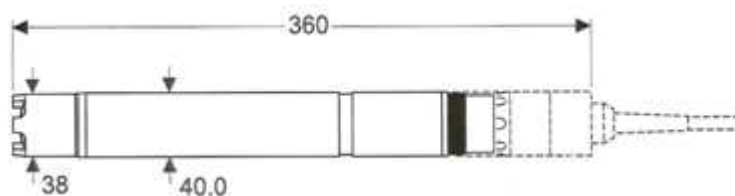


Figura 13: Sensor de oxígeno TriOxmatic 700 IQ [1].

4.2.1 Estructura

Dentro de la parte principal del sensor TriOxmatic 700 IQ (1) se pueden encontrar los elementos mostrados en la Figura 14:

- Electrodo de oro (cátodo): 2.
- Aislante: 3.
- Contraelectrodo de plata (ánodo): 4.
- Electrodo de referencia: 5.

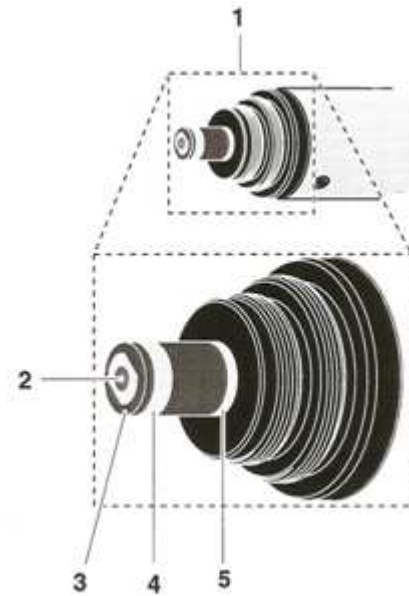


Figura 14: Elementos del sensor TriOxmatic 700 IQ [1].

4.2.2 Principios de funcionamiento

El funcionamiento del sensor se basa en la diferencia de potencial entre los electrodos causada por un voltaje externo, el oxígeno que pasa a través de la membrana se reduce en el cátodo produciendo una corriente eléctrica. La corriente así producida es directamente proporcional al índice de transporte de oxígeno a través de la membrana y, por tanto, a la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

Al contrario de las sondas de oxígeno usuales de membrana recubierta y con dos electrodos, la sonda TriOxmatic 700 IQ funciona con un sistema de tres electrodos accionados potencioestáticamente. Desde el punto de vista técnico, esto significa que el cabezal de medición que se encuentra al lado del electrodo colector A (cátodo de oro) no está equipado con uno, sino con dos electrodos de plata. Uno de ellos cumple la función de contraelectrodo G conduciendo corriente, mientras que el otro actúa de electrodo de referencia R y está libre de ella, como se puede apreciar en la Figura 15.

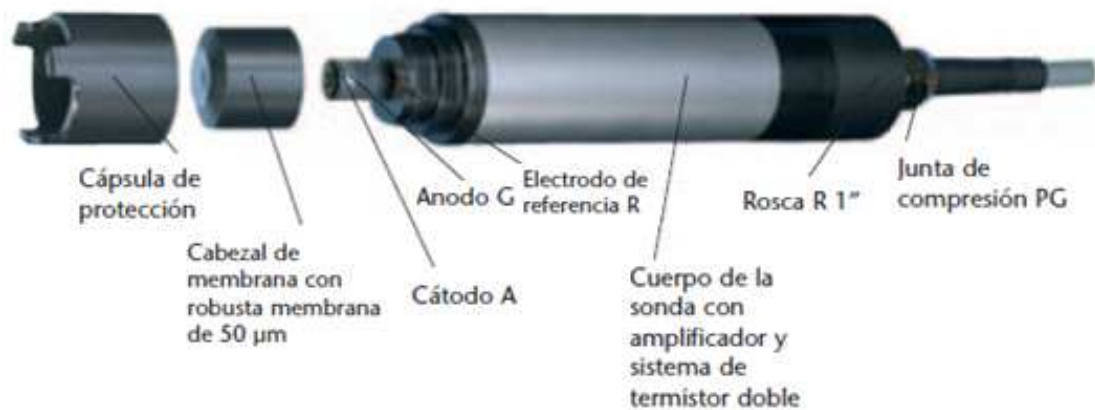


Figura 15: Sensor TriOxmatic 700 IQ [2].

La técnica de tres electrodos del sensor TriOxmatic700 IQ hace que la constante de potencial del electrodo de referencia sea mucho mayor, lo que a su vez conlleva tanto a una mayor estabilidad de la señal de la sonda como a una mayor exactitud. También, permite controlar la carga electrolítica con precisión: el sistema indica cuándo ha llegado el momento de cambiar la solución electrolítica. Además al ser una sonda digital cuenta con memoria de valores de calibración para la conexión.

4.2.3 Características

A continuación se muestran las características más importantes del sensor:

- Gran exactitud, debido al estrecho margen de error, aproximadamente de 1% del valor medido como máximo.
- No requiere cambiar la cápsula de membrana, si este cambio llegase a ser necesario, sería sólo después de algunos años, dependiendo del campo de aplicación.
- Membrana especial que no requiere mantenimiento, ya que utiliza una membrana de teflón que es extremadamente resistente a las formaciones biológicas. De este modo se puede omitir el uso de una unidad de limpieza adicional en la mayoría de las aplicaciones.
- Auto verificación para una operación segura: todos los componentes relevantes para la medición son vigilados automáticamente y se indicará cualquier error

que ocurra eventualmente; por lo tanto, no es necesario efectuar ni controles visuales regulares ni cambios preventivos de las cápsulas de membrana.

- Lecturas estables desde el inicio: la sonda mide desde la primera vez valores estables y, por tanto, reproducibles sin comportamiento de adaptación inicial, sin desviaciones a largo plazo y sin desviaciones del punto cero.

- Elevada precisión y resistencia a las interferencias mediante un amplificador integrado. Gracias a los componentes electrónicos activos integrados en el sensor, las sensibles señales de la sonda se procesan directamente en el sitio y se convierten en una señal de baja impedancia, inmune a interferencias.

- Protección integrada contra rayos gracias a un dispositivo integrado en la sonda, el cual protege al sensor y al convertidor contra grandes impulsos de energía eléctrica que con frecuencia ocurren con los rayos.

4.2.4 Conexión del sensor

La conexión del sensor al cable SACIQ de unión al módulo, se realiza por medio de la rosca R1'' (2), como se aprecia en la Figura 16. Ambos se unen como se aprecia en la Figura 16, para posteriormente enroscar el acoplamiento.

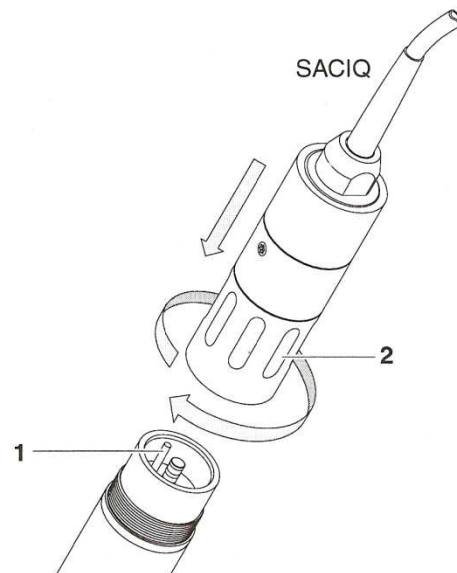


Figura 16: Conexión del sensor TriOximatic 700 IQ con el cable SACIQ [1].

4.3 Sensor de carbono

El sensor CarboVis 700/5 IQ, cuyas dimensiones en milímetros se observan en la Figura 17, es una sonda espectrométrica cuya función es medir todo el ámbito espectral desde la luz ultravioleta hasta la luz visible de onda larga. A partir del gran contenido informativo de los datos espectrales se determinan los valores de medición de DQO, COT, COD o DBO, explicados en el apartado 2.3.

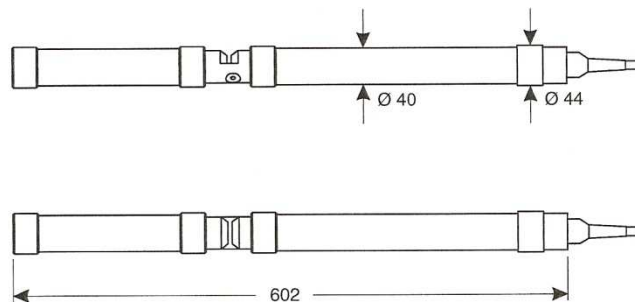


Figura 17: Sensor CarboVis 700/5 IQ [1].

4.3.1 Estructura

Dentro de un sensor espectrométrico se pueden encontrar los elementos mostrados en la Figura 18:

- Fuente de luz: 1.
- Transmisor de la señal: 2.
- Espacio de medición entre las ventanas: 3.
- Receptor de la señal: 4.
- Detector: 5.
- Haz de medición: 6.
- Sistema de limpieza: 7.
- Haz de referencia: 8.

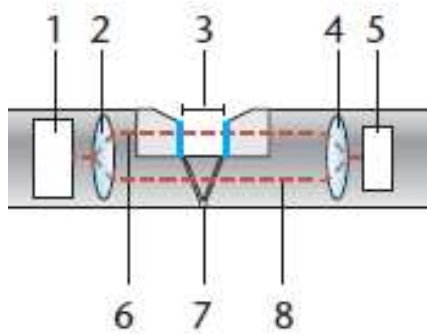


Figura 18: Elementos del sensor CarboVis 700/5 IQ [2].

4.3.2 Principios de funcionamiento

El funcionamiento físico de un sensor espectrométrico consiste en la fuente de luz (1), que emite un haz de medición (6) y otro haz de referencia (8), pasando ambos al salir por el componente óptico emisor (2). El haz de medición pasa por la ranura de medición entre las ventanas (3) llegando al componente óptico receptor (4) junto al haz de referencia. Los dos finalizan en el detector (5) obteniendo así la información recogida durante el proceso. Figura 18.

Los resultados de medición captados se presentan directamente en forma del conocido parámetro DQO (mg/L). Mediante una calibración realizada por usuario se puede ajustar una correlación conocida entre esta magnitud básica de medición que es la DQO y, a escoger, uno de los parámetros afines del carbono COT, COD o la DBO, ver apartado 2.3.

La determinación de los valores de medición se logra mediante la evaluación espectral del rango de luz ultravioleta/luz visible explorado, como se ha comentado en el apartado 2.3. Una de las ventajas del método utilizado por la sonda es que al ser capaz de medir todo el rango espectral, puede representar de forma suficiente la contaminación, ya que en las aguas residuales hay muchas sustancias con características ópticas sumamente diferentes. Muchos compuestos orgánicos muestran espectros de absorción UV característicos, de este modo la intensidad de atenuación de la luz puede correlacionarse con la contaminación orgánica, y por lo tanto con el contenido en carbono. Durante la medición, el espectro de absorción de la muestra se registra y se

compara con el espectro de absorción almacenado de un ajuste de cero, medido en agua ultrapura.

Por otra parte, los procesos espectrales ofrecen la ventaja de que también pueden compensar en forma óptima la turbidez del medio de medición, que también influye en las mediciones ópticas, en un extenso ámbito de longitudes de onda.

4.3.3. Características

Las características más importantes de la sonda CarboVis 700/5 IQ son:

- Mediciones directas, el sensor mide directamente en el medio; por lo tanto, no es necesario ni preparar ni transportar la muestra.
- Valores de muestras en tiempo real, es decir no hay demoras entre la toma de la muestra y el resultado de la medición. Los valores reales están disponibles de inmediato.
- Medición precisa gracias al análisis espectral del barrido en el rango UV/VIS.
- Compensación muy efectiva de los factores de interferencia y la turbidez; esta compensación se basa en información espectral, que es mucho mejor que la que se obtiene con un simple método de doble haz.
- Larga vida útil gracias a la limpieza automática con aire comprimido antes de cada medición. El sistema requiere un mantenimiento sumamente escaso.
- Escasos costes operativos, ya que el principio de medición óptica no requiere agentes químicos ni piezas sujetas al desgaste.

4.3.4 Conexión del sensor

Para el funcionamiento del CarboVis 700/5 IQ, es necesario la utilización del MIQ/VIS, que a su vez va ligado a otro módulo llamado MIQ/CHV, que es una válvula conmutable de aire comprimido para el funcionamiento del sistema de limpieza del sensor de carbono, como se comentó en el apartado 3.6.3.

Los componentes para poder trabajar con esta sonda de medición en línea son:

- MIQ/VIS.
- MIQ/CHV.
- Sistema de aire comprimido.

4.3.4.1 MIQ/VIS

El MIQ/VIS es el módulo encargado de controlar el tiempo de actuación de la válvula conmutable de aire comprimido del MIQ/CHV, por lo tanto ambos están estrechamente ligados, ya que uno controla al otro.

Una vez conectados ambos entre sí, como se aprecia en la Figura 19, ya se tendría la capacidad de controlar el tiempo en el cual se abre o se cierra la válvula del aire comprimido.

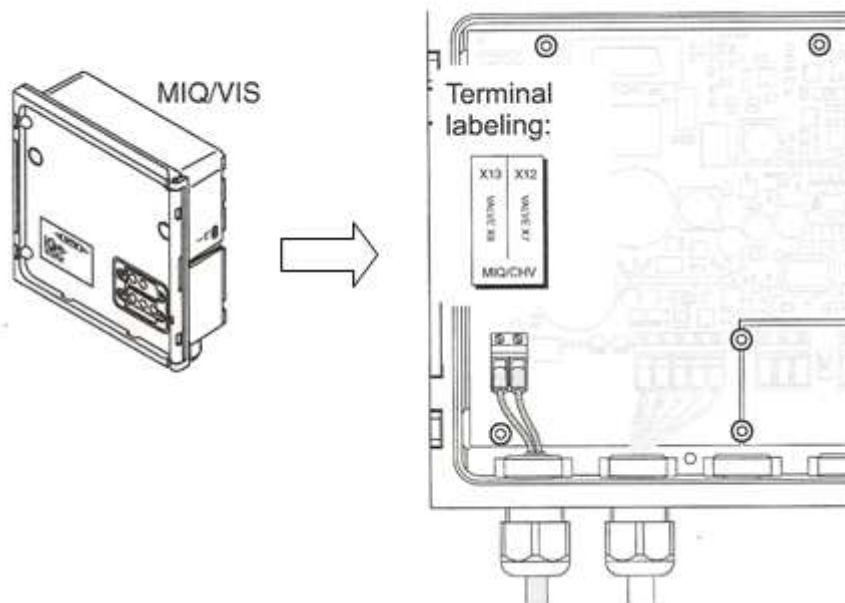


Figura 19: Conexión de los módulos MIQ/VIS y MIQ/CHV [1].

Dependiendo de la rapidez que se requiera dependiendo del tipo de aguas para limpiar periódicamente el sensor, se pondrá una apertura con mayor o menor frecuencia y que dure más o menos tiempo dicha apertura. Todo esto se puede configurar desde el terminal MIQ/C184 XT, en el menú del CarboVis 700/5 IQ escogiendo la opción más adecuada para cada caso.

En la Figura 20, se muestra un esquema de las conexiones entre el sensor CarboVis 700/5 IQ, el módulo MIQ/VIS, el módulo MIQ/CHV y el sistema de aire comprimido.

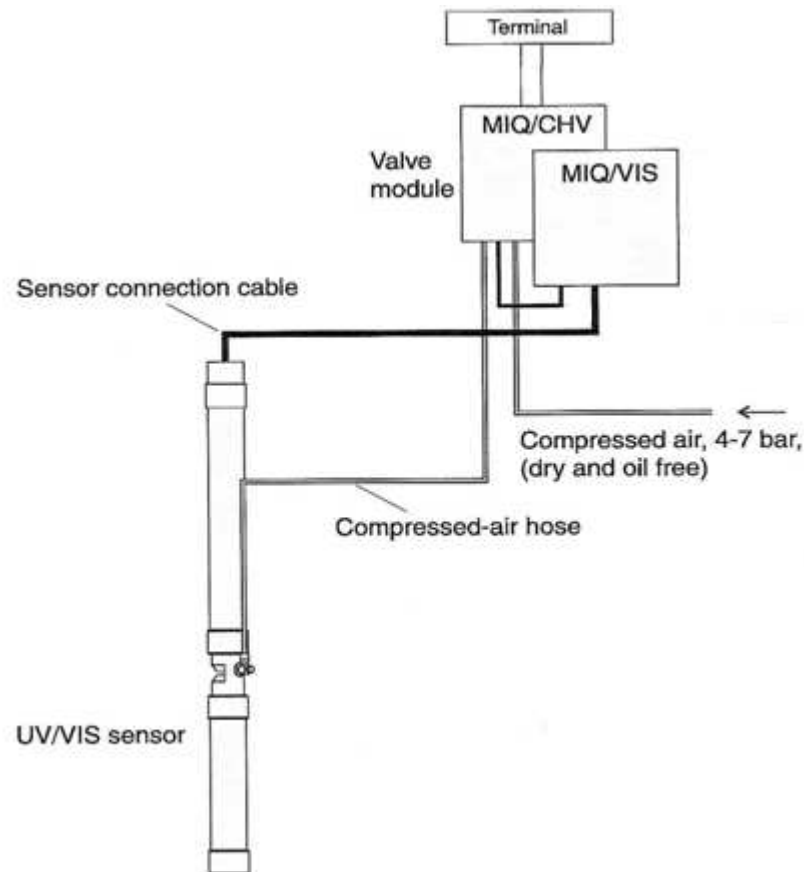


Figura 20: Esquema de conexiones entre los módulos MIQ/CHV, MIQ/VIS y el sensor de carbono.

4.4 Sensor de conductividad

El sistema TetraCon700 IQ de cuatro electrodos de WTW, cuyas dimensiones en milímetros se observan en la Figura 21, determina la conductividad de una solución midiendo su resistencia electroquímica.

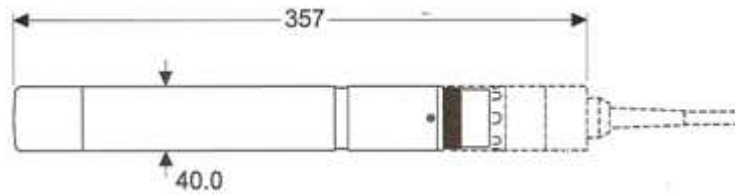


Figura 21: Sensor TetraCon 700IQ [1].

4.4.1 Estructura

Los elementos que forman parte la celda conductimétrica TetraCon 700 IQ se muestran en la Figura 22:

- Eje: 1.
- Cabeza de la conexión: 2.
- Electrodo de tensión: 3.
- Sensor de temperatura: 4.
- Electrodo de corriente: 5.

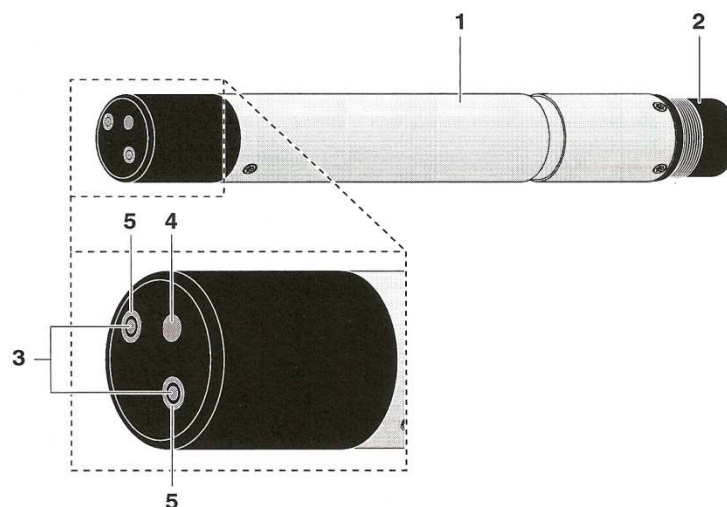


Figura 22: Elementos del sensor TetraCon 700 IQ [1].

4.4.2 Principios de funcionamiento

A diferencia de los sensores digitales más sencillos de conductividad de dos electrodos, el TetraCon 700 IQ consta de cuatro electrodos, se utilizan dos electrodos de

corriente y dos electrodos de tensión, como se observa en la Figura 23, actuando estos últimos casi como sondas de potencial sin corriente. La posible caída de voltaje en los electrodos es controlada mediante un circuito potencioestático.

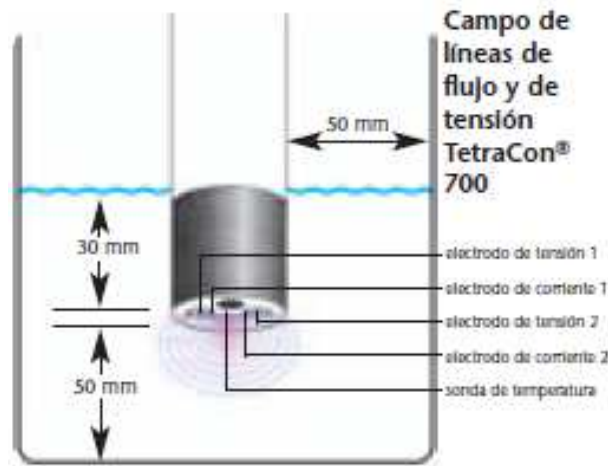


Figura 23: Electrodos del sensor TetraCon 700IQ [2].

La ventaja más importante de este principio de medición es que los efectos de polarización típicos de altas conductividades no afectan el resultado de la medición. También la resistencia de contacto originada en los electrodos por la suciedad es compensada casi en su totalidad.

También habría que destacar a la hora de valorar su funcionamiento, que normalmente, la célula de medición de conductividad no envejece. Excepto cuando la medición es en medios muy extremos, ácidos o bases fuertes, disolventes orgánicos, temperaturas muy alta, para lo cual se deberá utilizar los sistemas de limpieza descritos en el apartado 9.3.

4.4.3 Características

Esta celda conductimétrica de cuatro electrodos ofrece grandes ventajas técnicas de aplicación, sobre todo dentro del intervalo de los valores de conductividad más altos. Algunas de sus características más significativas son:

- Cálculo automático de los valores corregidos de conductividad mediante el coeficiente de temperatura ajustado, que se introduce en su terminal.

- Muy buena utilización en plantas de tratamiento de aguas residuales fuertemente contaminadas.
- Gran precisión en las mediciones, gracias a su principio técnico de medición se evitan influencias causadas por efectos de polarización primarios o secundarios.
- No es sensible a la suciedad o a las obstrucciones, gracias a su geometría especial como se ha visto en la Figura 22.
- Electrodo de carbón resistente a la abrasión fácilmente de limpiar.
- Mayor intervalo de medición ($10 \mu\text{S/cm}$ - 500 mS/cm).

4.4.4 Conexión del sensor

La conexión del sensor al cable SACIQ de unión al módulo, se realiza de manera similar a como se hizo con la sonda de oxígeno TriOxmatic 700 IQ, apartado 4.2.4, como se aprecia en la Figura 24.

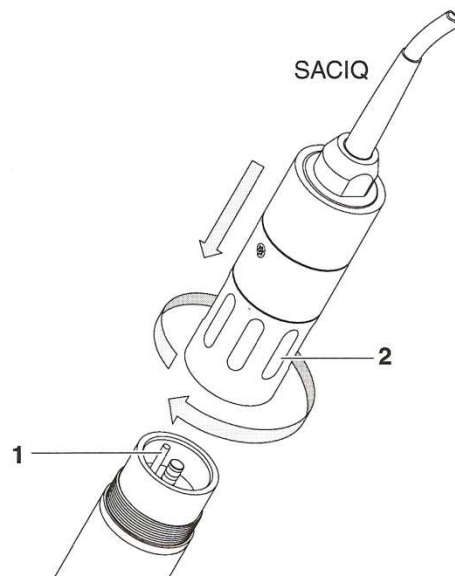


Figura 24: Conexión del sensor CarboVis 700 IQ con el cable SACIQ [1].



Capítulo 5

Cajas de muestras

5.1 Introducción

El diseño de las cajas de muestras es necesario porque extrapolando este proyecto a su uso en la vida laboral no siempre es posible introducir los sensores de manera correcta para realizar una toma de medidas fiable.

5.2 Colocación de los sensores

La elección de la posición de los sensores depende de por dónde se produce la toma de muestras. Para los sensores de conductividad y de oxígeno, la toma de muestras se produce por un extremo del cuerpo del sensor, como se puede apreciar en la Figura 25, por este motivo la colocación es de manera vertical.



Figura 25: Colocación de los sensores de oxígeno y conductividad.

Por el contrario el sensor de carbono, como se puede apreciar en la Figura 26, realiza la toma de la muestra en la parte central del cuerpo del sensor, por este motivo la colocación del sensor es horizontal.



Figura 26: Colocación del sensor de carbono.

En resumen las posiciones han sido elegidas por la facilidad de medición y además por la facilidad para realizar el mantenimiento.

5.3 Cajas de muestras

5.3.1 Material

El material elegido fue el polimetilmetacrilato (PMMA), ya que gracias a sus características: transparencia, alta resistencia respecto al vidrio, excelente aislante térmico, además de gran facilidad de mecanización; resultaba idóneo para el cuerpo de la caja de muestras. El cuerpo de la caja de muestras resulta ser la zona a través de la cual fluye el agua que va a ser analizada, y por lo tanto al ser la caja de muestras transparente facilita el mantenimiento visual, como se puede observar en la Figura 27.

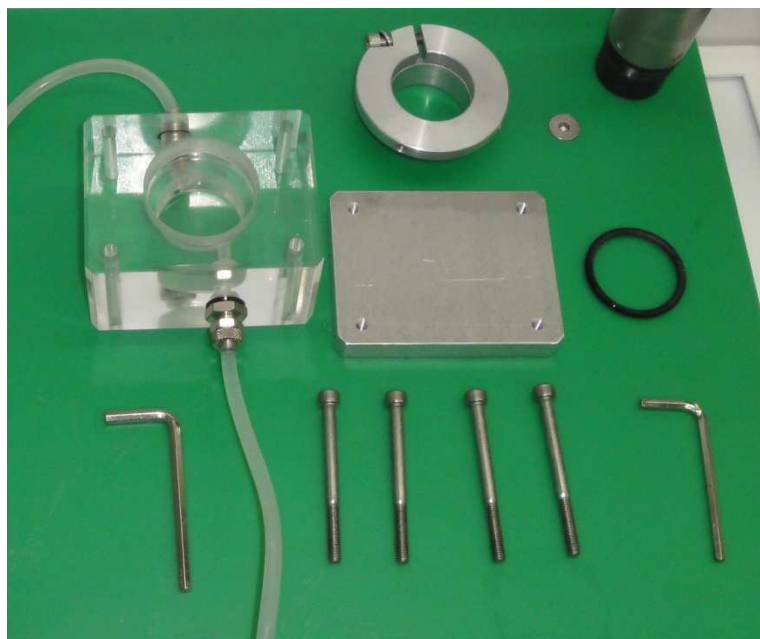


Figura 27: Materiales de las cajas de muestras.

La zona de apoyo de las cajas de muestras proporciona la sujeción de la caja de muestra al soporte del conjunto. La zona apoyo de las cajas de muestras se eligió de acero inoxidable, como se aprecia en la Figura 27, ya que no era necesaria la transparencia del PMMA en esa zona. El acero inoxidable es un material que proporciona a la caja de muestras una alta resistencia a la corrosión además de tenacidad.

5.3.2 Geometría

Fue necesario realizar el diseño de tres cajas de muestras, una para cada sensor. Las cajas de muestras actúan como recipientes que rodean a cada sensor para regular el paso de agua a través de los sensores.

Para realizar el diseño la premisa fundamental fue realizarlo a medida de la geometría de los sensores, ya que existían diferencias entre ellos en la medida de la toma de muestras, y solamente realizando un diseño exacto se podría evitar problemas de posibles fugas de agua o de estanqueidad de sedimentos, que se podrían quedar en los espacios muertos de los sensores.

Además el diseño de las cajas de muestras necesitaba amoldarse a unas juntas de sellado que fueran estándar y así que en un futuro se pudieran conseguir de manera sencilla y a bajo coste. La caja de muestras del sensor de carbono tuvo que diseñarse de manera detallada, ya que el sensor de carbono cuenta, como se ha comentado en el apartado 3.6.3, con una entrada para el módulo MIQ/CHV que es una válvula conmutable, que proporciona aire comprimido para el funcionamiento del sistema de limpieza, como se puede apreciar en la Figura 28.

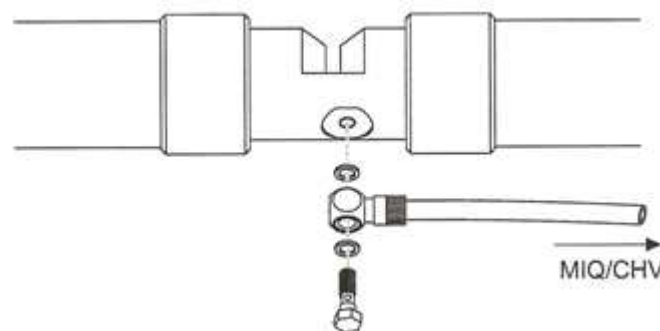


Figura 28: Conexión original del sensor con el módulo MIQ/CHV.

Esta conexión directa del módulo MIQ/ CHV con el sensor tuvo que rediseñarse a través de la caja de muestras como se observa en la Figura 29.

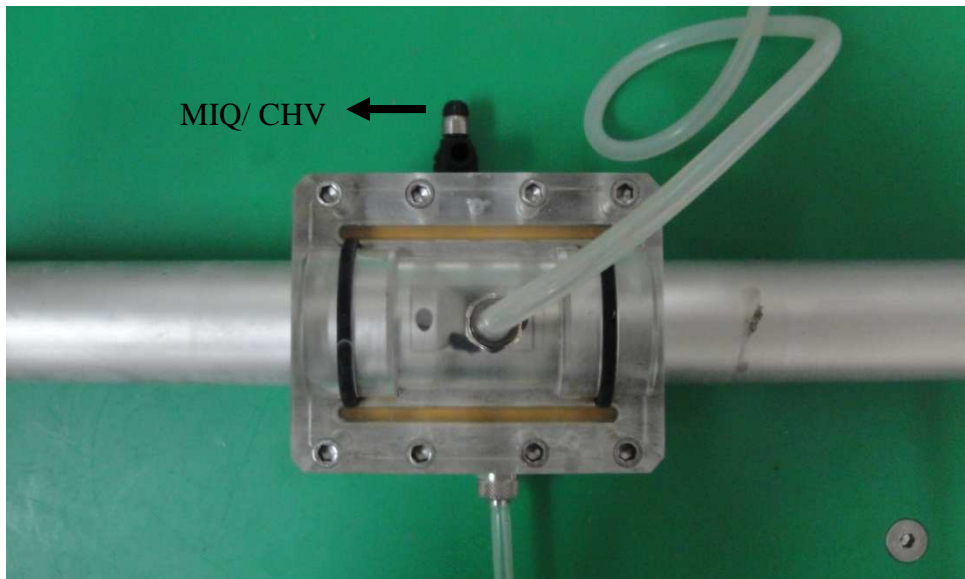


Figura 29: Conexión del sensor con el módulo MIQ/CHV.

En las figuras 30 y 31 se pueden apreciar los diseños en 3D de las cajas de muestras de los sensores de oxígeno y conductividad, en los cuales el diseño es el mismo, y la caja de muestras del sensor de carbono. En los anexos D, E, F, G y H se muestran los planos de las cajas de muestras.

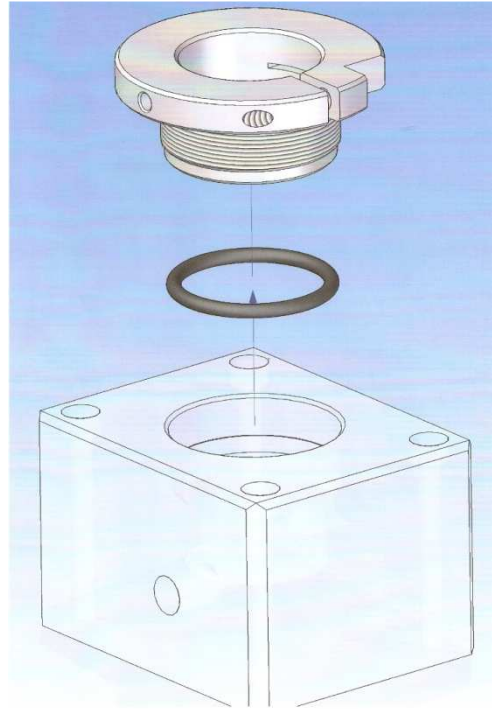


Figura 30: Diseño de los sensores de oxígeno y conductividad.

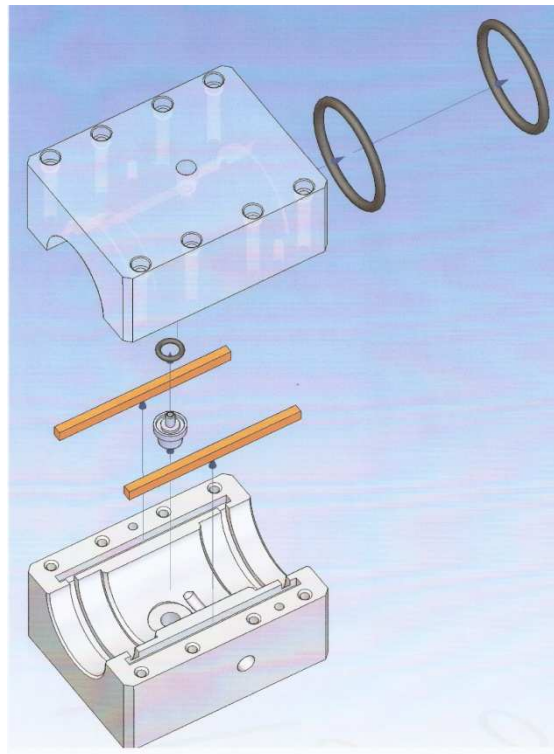


Figura 31: Diseño del sensor de carbono.

La realización de las cajas de muestras a través del diseño proporcionado se encargó a la empresa SOMAIN SA.

5.3.3 Conexiones

Las cajas de muestras poseen unos orificios, válvulas de entrada y salida de agua, que proporcionan la entrada y salida del agua en el interior de la caja de muestras para que se pueda producir la estanqueidad del agua y por lo tanto la correcta toma de medidas.

En las figuras 32, 33 y 34 se muestra la entrada y salida del agua del sensor de oxígeno, que como ya se ha comentado anteriormente el diseño es igual al del sensor de conductividad; además se puede apreciar que las válvulas se encuentran en las paredes laterales de la caja de muestras, debido a la posición vertical del sensor.

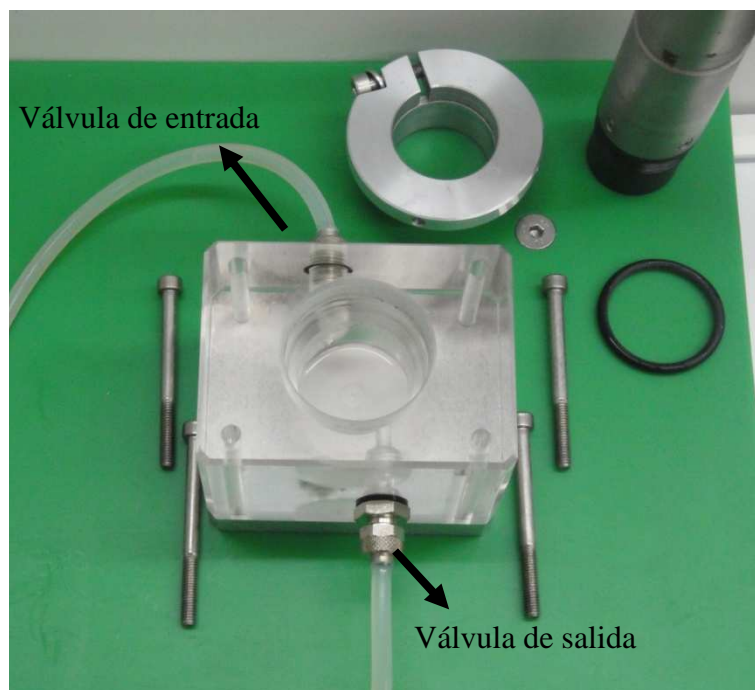


Figura 32: Válvulas de entrada y salida de los sensores de oxígeno y conductividad.



Figura 33: Vista superior ampliada de las válvulas de entrada y salida de los sensores de oxígeno y conductividad.

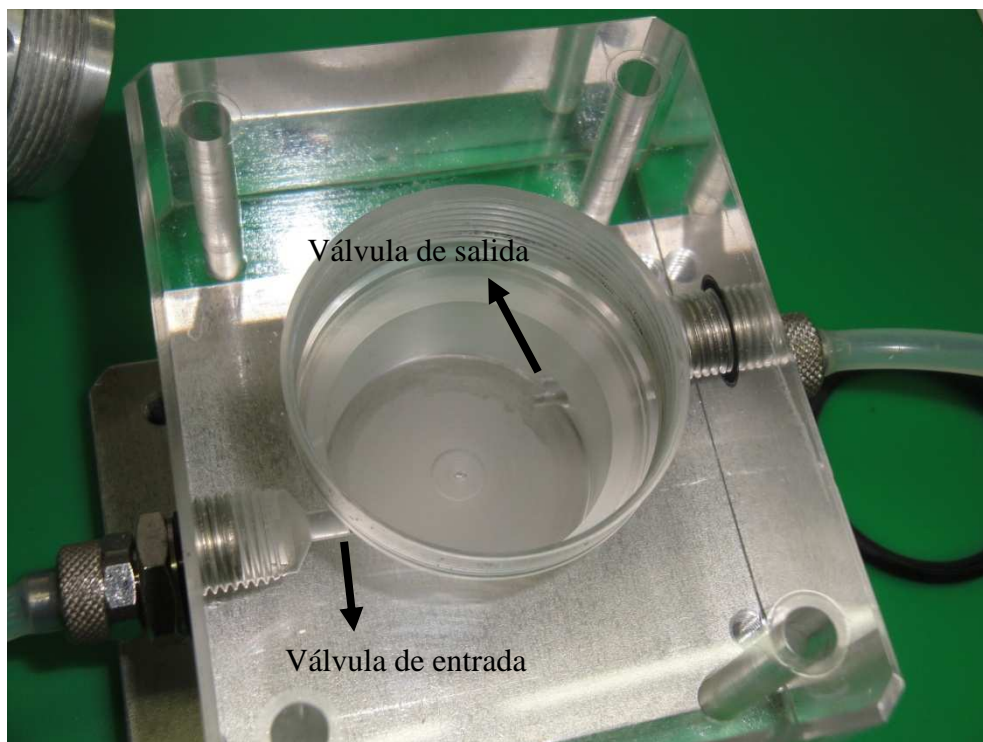


Figura 34: Vista lateral ampliada de las válvulas de entrada y salida de los sensores de oxígeno y conductividad.

En las figura 33 y 34 se puede observar como la válvula de entrada se encuentra a mayor altura que la válvula de salida, esto se ha diseñado así para evitar la acumulación de sedimentos en la parte inferior de la caja de muestras, ante el paso de aguas sedimentadas.

En la Figura 35 se muestra la entrada y salida del agua del sensor de carbono, las cuales se producen por la parte superior y por una pared lateral de la caja de muestras, esto es debido a la posición horizontal del sensor.

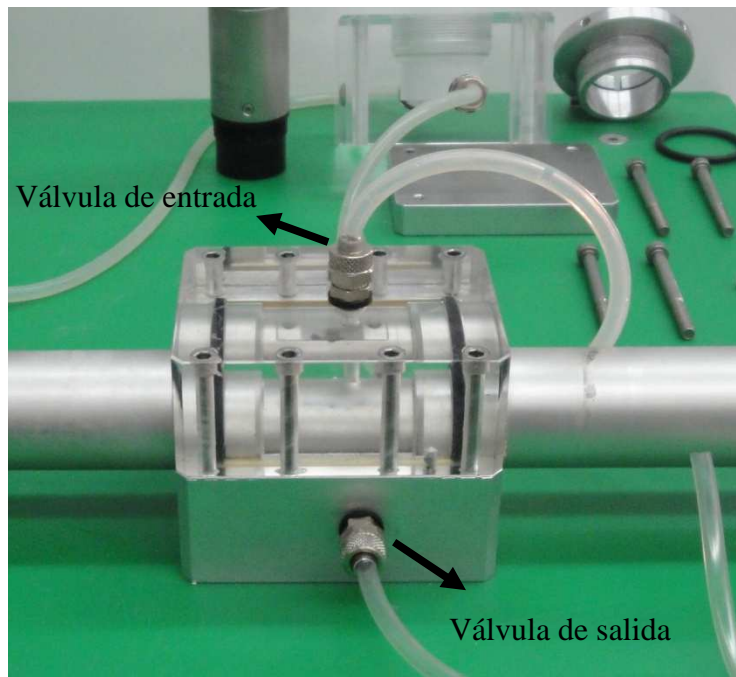


Figura 35: Válvulas de entrada y salida del sensor de carbono.

Como ocurría en las cajas de muestras de los otros sensores, la válvula de salida se encuentra en la zona inferior de la caja de muestras para evitar la acumulación de sedimentos.

El sensor de carbono además de la conexión de las válvulas tiene conectado la entrada al módulo MIQ/CHV, como se comentó en el apartado 5.3.2, Figura 36.

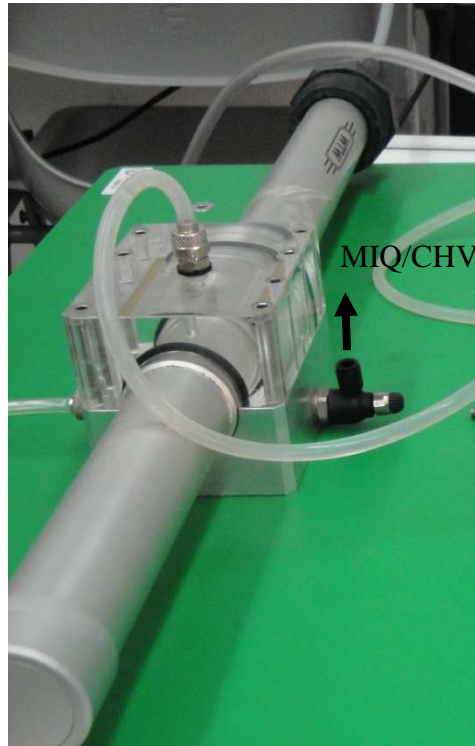


Figura 36: Conexión del sensor de carbono con el módulo MIQ/CHV.

5.4 Montaje del conjunto

Después de la construcción de las cajas de muestras se realiza el desarrollo del circuito cerrado que conducirá el agua desde un recipiente, que contendrá el agua de muestra, pasando por los sensores en serie, como se muestra en la Figura 37.

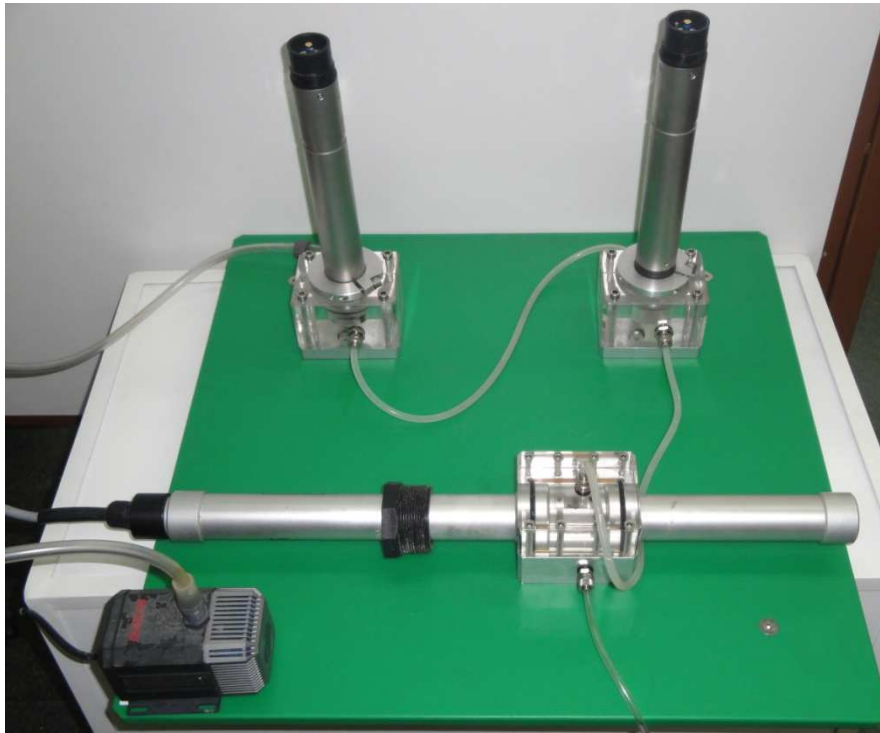


Figura 37: Montaje del conjunto.

Para que el circuito funcione fue necesaria una bomba de pecera para llevar el agua hacia los sensores y así poder realizar las medidas.



Capítulo 6

Calibración

6.1 Calibración del sensor de oxígeno

Durante la operación que realiza el sensor de medición de O.D, la pendiente de las medidas de O.D del sensor cambia con el tiempo. El procedimiento de calibración determina la pendiente actual del sensor.

Inicialmente si fuera necesario habría que limpiar y secar el sensor y la membrana, como se explicará en el apartado 9.1.1.

La calibración del sensor se lleva a cabo mediante las instrucciones de funcionamiento del sensor que se indican en el terminal/controlador MIQ/C184 XT.

Al principio de la calibración, marcar en la pantalla del terminal/controlador MIQ/C184 XT, como se observa en la Figura 38, el sensor a calibrar.



Figura 38: Terminal/controlador MIQ/C184 XT.

La calibración se lleva a cabo en vapor de agua saturada de aire y la posición del sensor es de aproximadamente 2 cm por encima de una superficie de agua como se puede apreciar en la Figura 39.

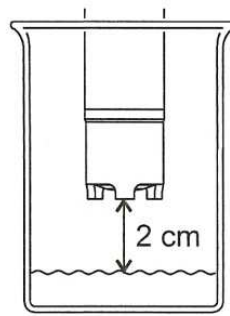


Figura 39: Posición para la calibración del sensor de oxígeno.

Seguidamente se realiza la calibración pulsando la tecla “C” en la pantalla terminal/controlador MIQ/C184 XT, Figura 38. Se confirma la nota que aparece en la pantalla mediante la tecla “OK”. A partir de este momento la calibración se inicia y se completa siguiendo las instrucciones de la pantalla.

Después de que la rutina de calibración ha terminado, la indicación del valor medido aparece de nuevo, el valor medido parpadea porque el sensor se encuentra todavía en el estado de mantenimiento.

Cuando la calibración se ha realizado correctamente, los datos de calibración se guardan en el registro de calibración.

6.2 Calibración del sensor de carbono

Realizar las medidas con el sensor CarboVis 700/5 IQ, primeramente es necesario calibrarlo. Para realizar la calibración se sigue el procedimiento de la Figura 40.

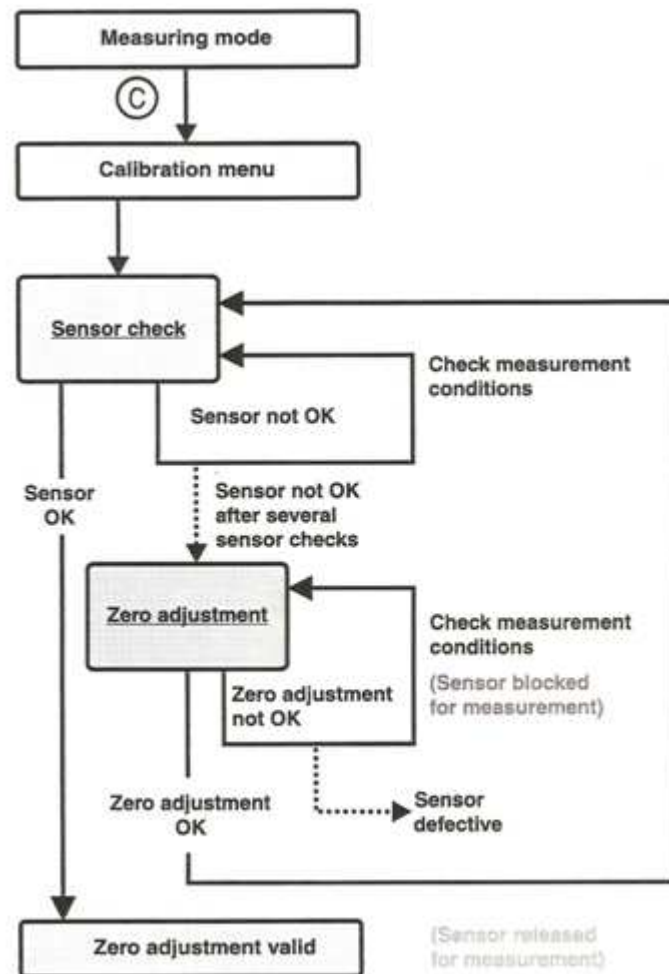


Figura 40: Procedimiento a seguir para realizar la calibración [1].

En la Figura 40 se observa cómo primeramente se realiza siempre el procedimiento del Sensor check, y a continuación el procedimiento del Zero adjustment, repitiéndose este paso varias veces sino sale satisfactorio.

El procedimiento del Sensor check determina el estado de la UV/VIS del sensor. Este procedimiento debe ser llevado a cabo dos veces al año a intervalos regulares o si se sospecha que el sensor se encuentre dañado debido a alguna caída.

El procedimiento del Zero adjustment compensa los cambios irreversibles, por ejemplo medidas que no se pueden eliminar mediante la limpieza del sensor. Si Zero adjustment no se realiza correctamente, el sensor se bloquea durante la medición.

6.2.1 Sensor check y Zero adjustment

Inicialmente se selecciona el sensor de carbono y se pulsa la tecla “C” en la pantalla terminal/controlador MIQ/C184 XT, Figura 38, de tal manera que se activarán las condiciones de mantenimiento.

Después se procede a sacar el sensor del lugar de medición, para posteriormente desconectar la entrada del aire comprimido del sensor, y realizar su limpieza como se indica en el apartado 9.2.2.

A continuación se coloca a la altura de la toma de muestras del sensor la cámara de medición como se aprecia en la Figura 41, es decir poniendo el sensor horizontalmente y con la abertura de la cámara de medición hacia la parte superior para poder introducir la muestra.

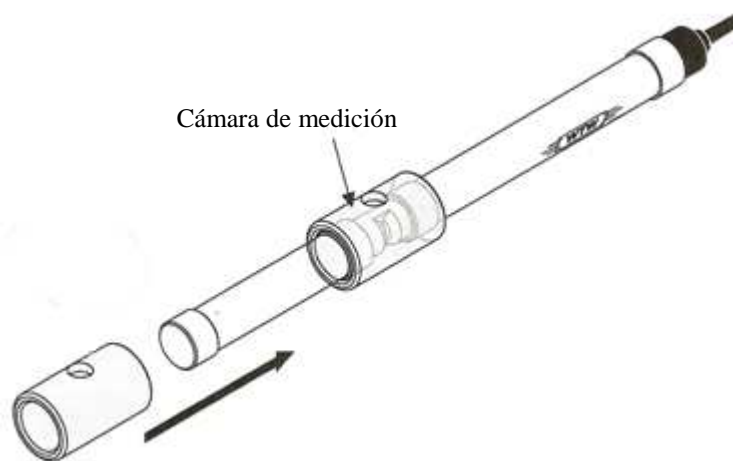


Figura 41: Introducción y posicionamiento de la cámara de medición [1].

Seguidamente se rellena la cámara de medición con agua extrapura unas tres veces, y durante el último llenado se selecciona la opción que se quiera realizar:

- Sensor check. Los resultados posibles en el caso de haber elegido la opción Sensor check se muestran en la Tabla 6.

Display output	Meaning
Evaluation number 0	<i>Sensor check</i> successful.
Evaluation number -1 or +1	<i>Sensor check</i> not successful (small deviation).
Evaluation number -2 or +2	<i>Sensor check</i> not successful (big deviation).

Tabla 6: Resultados posibles en Sensor check.

- Zero adjustment. Los resultados posibles en el caso de haber elegido esta opción se muestran en la Tabla 7.

Display output	Entry in calibration history	Meaning	Sensor released for measurement
<i>Zero adjustment</i> successful.	OK	<i>Zero adjustment</i> successful.	Yes
<i>Zero adjustment</i> erroneous!	Error	<i>Zero adjustment</i> not successful.	No ("----")

Tabla 7: Resultados posibles en Zero adjustment.

Si el resultado no es satisfactorio se puede realizar de nuevo el procedimiento desde el llenado con agua ultrapura. Si por el contrario el resultado resulta satisfactorio se confirman los resultados de la calibración y se vuelve a la indicación de valor medido, la cual parpadea ya que se encuentra en las condiciones de mantenimiento.

Finalmente se vacía el agua ultrapura y se retira la cámara de medición, colocando el sensor en la posición de medida, conectando el módulo MIQ/CHV y desactivando la condición de mantenimiento en el menú.

6.2.2 Comprobación del sensor con una solución estándar

Para comprobar el sensor con una solución estándar primeramente se selecciona el sensor de carbono y en el menú se conectan las condiciones de mantenimiento.

Seguidamente se saca el sensor del lugar de medición y se limpia la zona de medida del sensor. Después se coloca la cámara de medición cómo se indicó en el apartado 6.2.1.

A continuación se selecciona en el menú *Setting of sensors and diff.* el modo de medición *COD std. solution*, saliendo de la opción con *salvar y salir*. Cuando se cambia el modo de medición todos los enlaces y datos de salida son borrados.

Por último se desactiva la condición de mantenimiento, se coloca el sensor en su lugar de medida después de quitar la cámara de medición y se vuelve a instalar el aire comprimido al sensor.

6.3 Calibración del sensor de conductividad

El sensor TetraCon 700 IQ no dispone de un sistema de calibración, este viene de fábrica listo para su funcionamiento. Lo que si dispone este sensor, es un sistema de ajuste, ya que a la hora de colocar este sensor en posición de medición, se tienen que respetar unas distancias mínimas.

Hay que asegurarse de que el sensor se encuentra rodeado por una diferencia de al menos 5 cm en la base y los lados (campos frontera) distancias medidas desde los electrodos a las paredes del reactor, como se puede observar en la Figura 42.

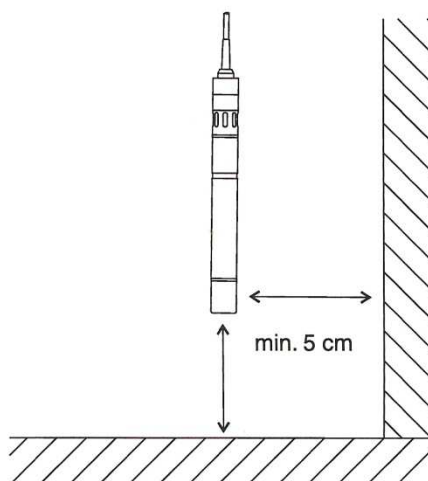


Figura 42: Distancias de medida del sensor de conductividad.

Si la diferencia es inferior de la indicada anteriormente, los resultados de las mediciones resultan incorrectas. Si la diferencia no se puede mantener, por ejemplo, en tubos estrechos, se podría aplicar el sistema de ajuste, que consiste en calcular una constante de celda que puede ajustarse para adaptarse a las condiciones de la instalación.

Para calcular esta nueva constante de celda primeramente se sumerge el sensor de conductividad operable en la muestra y se espera hasta que la medición del valor medido sea estable. Este valor de conductividad que aparece en la pantalla se anota en χ_D .

A continuación se toma una muestra representativa de manera simultánea con la medición de la conductividad y de las inmediaciones del sensor, si es posible.

Después se determina la conductividad de la muestra sin la influencia de los campos de frontera (χ_x). La medición puede ser realizada de las siguientes maneras:

- Medición en el laboratorio usando dispositivos que simulen las distancias que vamos a tener en la práctica.
- Mediante la medición del TetraCon 700 IQ directamente, es decir, aplicándolo directamente en el lugar de medición, mientras se observa las lagunas en el fondo y los laterales de acuerdo a la sección.

Por último se anota la constante de la celda que actualmente aparece en el menú de configuración del sensor (K_A); y se calcula la nueva constante de celda K_N de acuerdo a:

$$K_N = (\chi_x / \chi_D) \cdot K_A \quad (\text{ec. 7})$$

Para poder utilizar el sensor hay que establecer y almacenar la nueva celda constante K_N dentro del menú de configuración del sensor.

Para la calibración del sensor del proyecto las variables introducidas se muestran en la Tabla 8.

χ_X	108,8
χ_D	126,6
K_A	0,917
K_N	0,788

Tabla 8: Variables de calibración del proyecto.

Capítulo 7

IQ Sensor Net software

7.1 Introducción

Tras la realización de los prototipos de los sensores, en el laboratorio se empieza con el proceso de instalación del software necesario para poder recibir la información de los sensores y poder controlarlos desde su pantalla remota a través del ordenador.

7.2 Conexión del IQ Sensor software con la CPU

En este proyecto se ha utilizado una conexión directa, mediante el módulo interfaz MIQ/IF232. Este módulo es alimentado como el resto de módulos del sistema IQ Sensor Net 184 XT, y dispone de un cable RS 232 que sirve de vía de unión entre el módulo y la CPU, conectándolo en un puerto serial del ordenador que este libre.

Para una conexión directa, el ordenador debe tener unos requerimientos mínimos. En este caso el sistema operativo es Windows, por lo tanto el ordenador tendrá que tener como mínimo:

- Windows 98 o superior.
- Procesador Pentium 2 o superior.
- Mínimo 8 Mb RAM.
- 10 Mbytes libres de memoria.
- VGA/SVGA de tarjeta grafica.
- CD-ROM.
- Para una conexión directa, un puerto serial libre disponible (COM conexión).

7.3 Instalación del IQ Sensor software en la CPU

La instalación del software en el ordenador es muy sencilla, simplemente se conecta el cable interfaz RS 232 del módulo MIQ/IF232, con un puerto en serie que este libre del ordenador. Después, se instala software mediante el CD-ROM que nos ha suministrado el fabricante.

Este software permite tener el mismo control del IQ Sensor Net que se tenía desde el terminal MIQ/C184 XT, teniéndolo ahora desde la pantalla del ordenador. Este control se realiza mediante el cuadro de diálogo de la Figura 43, el cual es una réplica de pantalla del terminal MIQ/C184 XT. Este software por lo cual, permite dos vías de control y de visualización de las magnitudes, gráficos y avisos que se puedan estar indicando en el sistema en tiempo real.

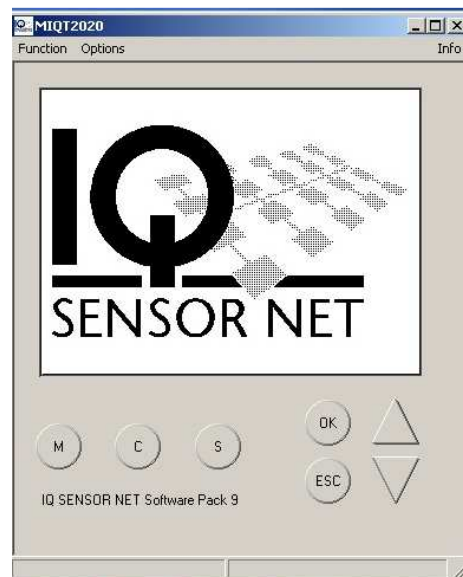


Figura 43: Réplica de pantalla del terminal MIQ/C184 XT en el ordenador.

7.4 Recepción de datos en la CPU

La recepción de los datos en la CPU es una de las aportaciones más importantes del software del sistema IQ Sensor Net, el cual se realiza a través de la aplicación “Datalog Transfer”, para lo cual lo primero que se debe hacer es realizar su instalación.

A continuación se van a detallar paso a paso como llegar al final de la recepción de los datos de los sensores.

Inicialmente, tras abrir el programa aparece el cuadro de dialogo que se muestra en la Figura 44, en el cual se elige el idioma inglés y el modo de transferencia que se realizará a través del IQ Sensor NET.

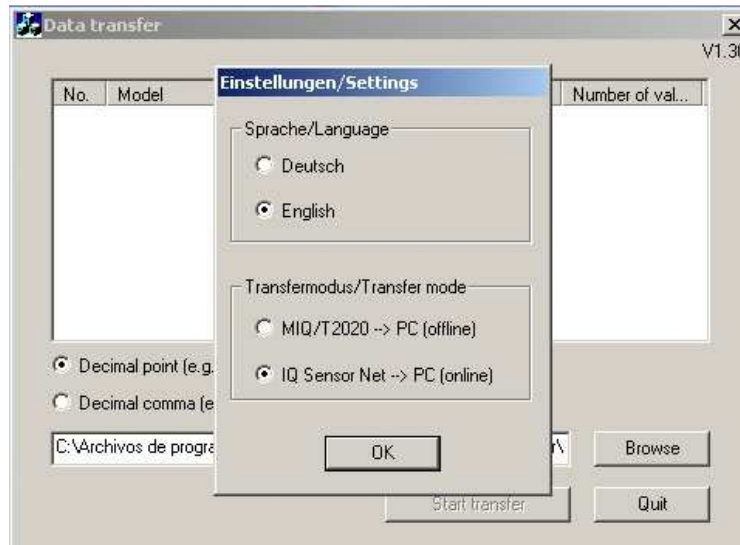


Figura 44: Elección del modo de transferencia.

A continuación se elige el puerto por donde se realizará la transmisión de los datos desde la pantalla de la terminal MIQ/C184 XT hasta el ordenador, Figura 45, marcando el puerto 1 (COM 1) ya que en nuestro caso sólo tenemos un puerto.

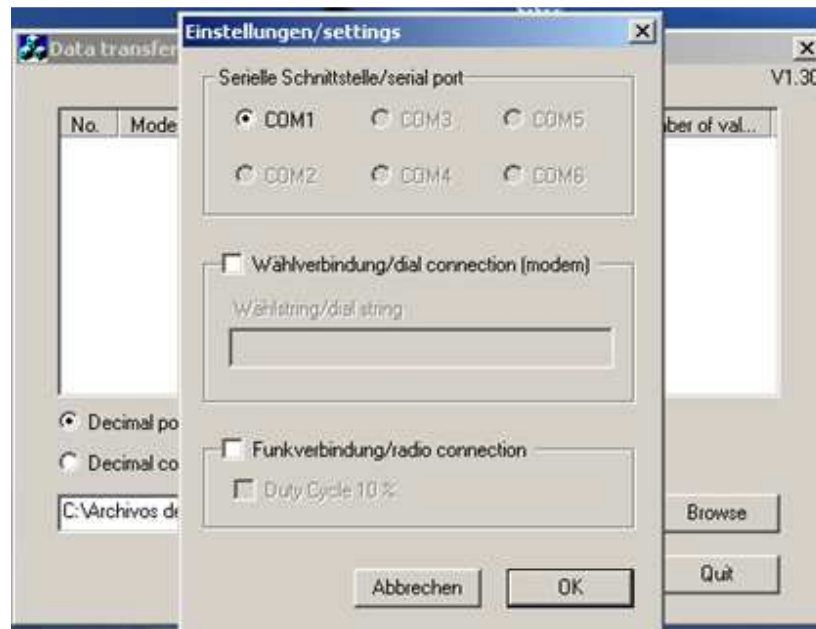


Figura 45: Elección del puerto.

Seguidamente como se muestra en el cuadro de diálogo de la Figura 46, se agregan los sensores que están conectados, TriOximatic 700 IQ, TetraCon 700 IQ, y CarboVis 700 IQ. De izquierda a derecha del cuadro de diálogo se muestra la

numeración, el modelo, el nombre y el número de serie de cada sensor; por último aparece el número de muestras que se van a transferir, por defecto se muestran siempre 1440 muestras por sensor, este número de muestras se podrían cambiar desde el módulo MIQ/T 2020, ver apartado 3.5.2, o desde la propia pantalla de la terminal MIQ/C184 XT.

Una vez comprobados los sensores, se pulsa la tecla de empieza “Start transfer” y comienza la transmisión de datos desde la terminal MIQ/C184 XT hacia la CPU, y la recepción de estos en un archivo Excel, un archivo por cada sensor. El vuelvo de estos datos en el ordenador da un mayor control al usuario, además de ser una ventaja al poder almacenar mayor número de datos, ya que la memoria de la que dispone el módulo MIQ/C184 XT es finita.

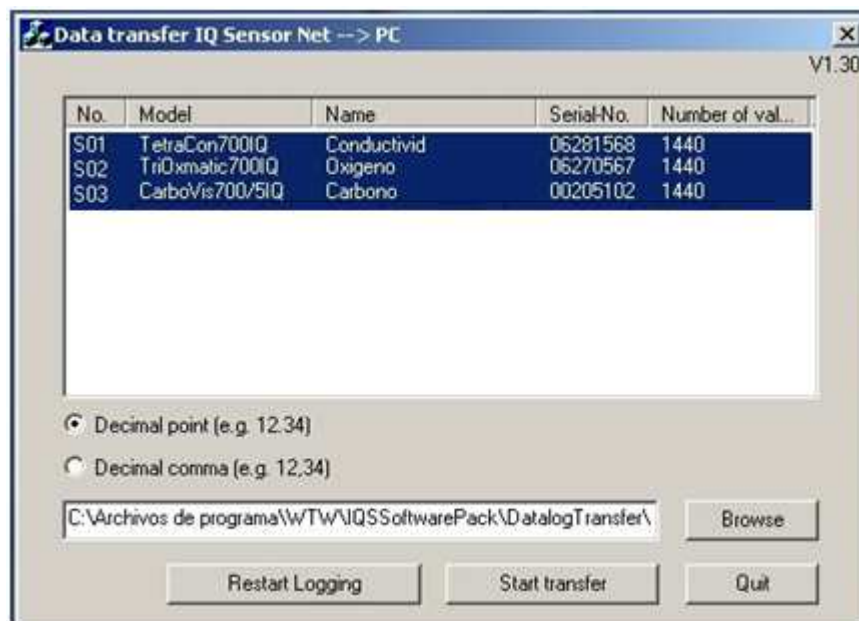


Figura 46: Transmisión de datos.



Capítulo 8

Resultados

8.1 Introducción

Se han tomado una serie de medidas en el laboratorio, esas medidas se han realizado en tres muestras diferentes, para agua destilada, para agua del grifo y para aguas residuales.

Para las dos primeras muestras, mostradas en los anexos J y K, agua destilada y agua del grifo, el sensor de carbono no medía debido a que su rango es muy amplio, y al estar calibrado con agua extrapura, cuya DQO es muy próxima a cero, el agua destilada y el agua del grifo resultan indetectables, por lo que solamente se han analizado la conductividad y la cantidad de oxígeno disuelto. Para comprobar el correcto funcionamiento del sensor de conductividad se realizó la medida de las muestras con un conductímetro, comprobando la coincidencia entre ambos métodos de medida. Por el contrario para el sensor de oxígeno no se dispuso de ningún método para comprobar su correcto funcionamiento, aunque estos valores fueron contrastados teóricamente.

El sensor de carbono ha resultado especialmente delicado a la hora de trabajar con él debido a que los rangos teóricos presentados en el manual no coincidían con los experimentales, por lo que el sensor se mostraba continuamente fuera de rango (OFL) a partir del valor numérico de 200 mg/L, no pudiendo realizar las muestras mayores. Se comprobó que las soluciones realizadas para la medición eran demasiado cristalinas, por lo tanto la luz ultravioleta que le llegaba al receptor era muy alta, no desviándose prácticamente nada del haz de luz, dejando al sensor fuera de rango. Esto era debido a que la utilización del sensor no era la idónea, ya que su uso frecuente es analizar aguas más contaminadas. Por este motivo se ha analizado un agua residual y se ha conseguido subir el rango del sensor de carbono hasta un valor numérico aproximado de 300 mg/L, como consecuencia de la contaminación del agua

Además para comprobar el correcto funcionamiento del sensor de carbono se realizaron varias muestras con DQO (ver apartado 2.3) conocidas.

Como se observa en los anexos J, K, L y M, las medidas de conductividad van aumentando debido a la evaporación del agua, quedando más sales en menor cantidad de agua, aumentando así su conductividad. Mientras que en la cantidad de carbono

resulta al contrario, según pasa el tiempo la medida va disminuyendo, esto es debido a que la luz ultravioleta que utiliza el sensor de carbono va eliminando la materia orgánica del agua. La cantidad de oxígeno disuelto no sufre modificaciones a medida que avanza el tiempo, manteniéndose aproximadamente constante.

8.2 Muestra de agua destilada

Las muestras tomadas del agua destilada se muestran en el Anexo J, en el cual se puede observar que el agua destilada tiene una conductividad oscilante entre 0,0384795 mS/cm y 0,0396144 mS/cm, mientras que de oxígeno disuelto tiene aproximadamente 8,19 mg/L. La cantidad de carbono no se ha podido analizar debido a lo comentado en el apartado 8.1.

8.3 Muestra de agua del grifo

En el agua del grifo como se puede observar en el Anexo K la conductividad existente en la muestra varía desde valores de 0,110583 mS/cm a valores de 0,113161 mS/cm, y la cantidad de oxígeno disuelto en de aproximadamente 7,09 mg/L. La cantidad de carbono no se ha podido analizar debido ha comentado en el apartado 8.1.

8.4 Muestra de agua residual

La medida del agua residual, cuyos valores se encuentran reflejados en el Anexo L, muestran valores de conductividad desde 0,6176 mS/cm a 0,6186 mS/cm, valores de 6,7 mg/L de oxígeno disuelto y por último el carbono presento en sus primeras tomas datos fuera de rango (OFL), pero según la materia orgánica iba disminuyendo debido a lo comentado en el apartado 8.1, las medidas fueron entrando en rango, estabilizándose en valores desde 286,7 mg/L hasta valores de 280,8 mg/L.

8.5 Muestras para la comprobación del carbono

Las mediciones con el sensor de carbono resultaron dificultosas debido a lo comentado en el apartado 8.1, por esta razón se decidió realizar diferentes muestras de aguas con DQO conocidas, para valorar el correcto funcionamiento de dicho sensor.

Como disoluciones patrón para la comprobación del sensor de carbono se han utilizado disoluciones de ftalato ácido de potasio, sustancia patrón primario para la determinación de DQO según la norma UNE 77004:2002. Para ello se seca el ftalato durante 18 h a 120 °C dejándolo enfriar en un desecador antes de pesar la cantidad necesaria para realizar la disolución.

La DQO calculada se obtiene mediante la expresión $(W \cdot 15 \cdot 32 / 2 \cdot 4)$ donde W es el peso de ftalato expresado en mg y el volumen de disolución es de 250 mL.

$$PM (C_6H_4COOHCOOK) = 204,23$$

La reacción de oxidación del ftalato es:



Las disoluciones preparadas se muestran en la Tabla 9:

W (mg)	moles	DQO (mg/L)
13,1	0,06	62
27,2	0,13	128
29,8	0,15	140
75,9	0,37	357
93,4	0,46	439

Tabla 9: Disoluciones preparadas.

Los resultados de estas muestras se pueden observar en el Anexo M, las cuales confirmar el buen funcionamiento del sensor ya que aproximadamente miden cada muestra lo que deberían existiendo un pequeño margen de error, común a cualquier proceso de medición experimental.

Capítulo 9

Mantenimiento del sistema

9.1 Mantenimiento del sensor de oxígeno

En cuanto al mantenimiento de este sensor, se debe tener en cuenta principalmente la limpieza. Para realizar operaciones de mantenimiento, ya sea la limpieza u otra operación, es necesario que quitemos el sensor de la posición de medición para evitar reacciones no deseadas en productos vinculados a nuestro sensor.

Para un funcionamiento normal como es en aguas residuales municipales, la limpieza y la calibración se deben realizar cuando:

- La contaminación sea muy abundante.
- Exista sospecha que los valores medidos son incorrectos, por lo general demasiado bajos.
- Si el valor medido se encuentra fuera del rango de precisión requeridos por el usuario durante la función de verificación.

9.1.1 Limpieza del eje y la membrana del sensor

Primeramente se retira el sensor de la muestra y se retiran los agentes contaminantes que se observen a simple vista mediante un lavado con agua a través de una manguera o un trapo.

Seguidamente se desatornilla la cápsula de protección del sensor, como se observa en la Figura 47, y se limpia cuidadosamente el cuerpo del sensor y la membrana, entonces se enjuaga con agua del grifo.

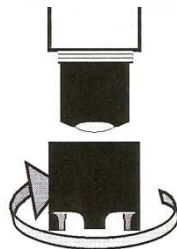


Figura 47: Desconexión de la cápsula de protección del sensor de oxígeno.

También se limpia y aclara la cápsula de protección del sensor, como se observa en la Figura 48; y se vuelve a atornillar la cápsula de protección. Finalmente el sensor está listo para ser calibrado.

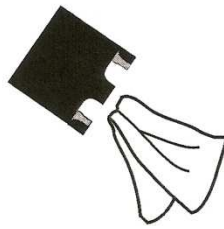


Figura 48: Limpieza de la cápsula del sensor de oxígeno.

9.1.2 Cambio del electrolito y la tapa de la membrana

Inicialmente se retira el sensor de la muestra y se desatornilla la cubierta protectora del sensor, y la tapa de la membrana, como se puede apreciar en la Figura 49.



Figura 49: Desconexión de la cubierta protectora del sensor de oxígeno.

A continuación se enjuaga la cabeza del sensor con agua del grifo, como se aprecia en la Figura 50; se frota el electrodo de plata con una toalla de papel y se enjuaga con agua desionizada.

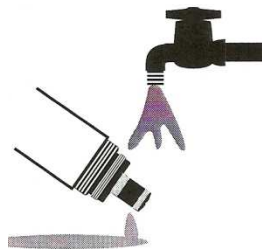


Figura 50: Enjuague con agua del grifo de la cabeza del sensor de oxígeno.

Seguidamente se enjuaga la cabeza del sensor con una solución de electrolitos y se llena una nueva cápsula de membrana con una solución electrolítica, como se puede

apreciar en la Figura 51. Se desecha el primer llenado y se vuelve a llenar la cápsula de membrana con la solución de electrolítica, evitando que queden burbujas.

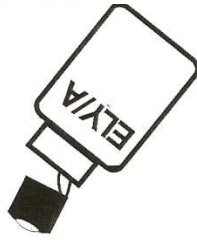


Figura 51: Llenado de la cápsula del sensor de oxígeno con solución electrolítica.

Finalmente se atornille la tapa de membrana en el eje mientras se mantiene el sensor en un ángulo, como se aprecia en la Figura 52. Después de 60 minutos, en los que se produce la polarización, el sensor está listo para funcionar, sin olvidar que es necesario recalibrarlo.



Figura 52: Montaje de la tapa de la membrana en el eje del sensor de oxígeno.

9.1.3 Limpieza del electrodo de oro

Los pasos iniciales son comunes a los otros procesos: retirar el sensor de la muestra, desenroscar el cable SACIQ de conexión y eliminar cualquier forma de contaminación visual.

Para la limpieza del electrodo de oro, el primer paso es humedecer el electrodo de oro y la tira de pulir con agua desionizada. Posteriormente se realiza el pulido con una ligera presión, como se aprecia en la Figura 53, para eliminar cualquier tipo de contaminación. Por último se enjuaga la cabeza del sensor con agua desionizada.



Figura 53: Pulido del electrodo de oro del sensor de oxígeno.

9.1.4 Limpieza del electrodo de plata

Primeramente se realizan los pasos comunes ya comentados anteriormente, ver apartado 9.1.3, y a continuación se limpia el electrodo de plata con una toalla de papel sin pelusa.

Después se atornilla el accesorio de limpieza en el sensor en lugar de la tapa de la membrana, como se observa en la Figura 54.

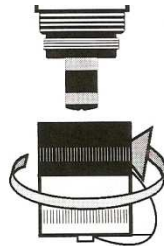


Figura 54: Montaje del accesorio de limpieza en el sensor de oxígeno.

Seguidamente se quita la tapa del tornillo de la tapa de seguridad, como se puede apreciar en la Figura 55. Se llena el tapón de rosca con la solución de limpieza RL-AG/Oxi y se vuelve a atornillar.



Figura 55: Desconexión de la tapa del tornillo de la tapa de seguridad del sensor de oxígeno.

Se deja la solución de limpieza un máximo de una hora, para posteriormente desenroscar el tapón y enjuagar bien el electrodo con el tapón de seguridad con agua desionizada.

Finalmente se desenrosca la tapa de seguridad y se enjuaga la cabeza del sensor y el electrodo varias veces con agua desionizada, terminando introduciéndola durante al menos una hora en un recipiente con agua desionizada. Con cuidado, sacudir las gotas de agua y llenar de nuevo la tapa de la membrana. Después de unos 60 minutos, el sensor está listo para funcionar, teniendo que recalibrarlo antes.

9.2 Mantenimiento del sensor de carbono

El sensor CarboVis 700/5 IQ y el MIQ/VIS operan sin mantenimiento.

9.2.1 Limpieza del módulo MIQ/VIS

La limpieza del módulo MIQ/VIS sigue los mismos principios básicos que se aplican para todos los módulos MIQ. Para ello se impulsa aire comprimido de limpieza por las ventanas de medición: el sistema de limpieza limpia las ventanas de medición automáticamente en intervalos regulares.

9.2.2 Limpieza del sensor

Para poder realizar la limpieza del sensor es necesario primeramente analizar el tipo de contaminación producida. Cuando la contaminación es producida por sustancias solubles en agua, la limpieza se produce a través de agua del grifo. Por el contrario con grasas y aceites, los agentes de limpieza utilizados son agua tibia y detergente, y en caso de contaminación pesada: metilación. Otro tipo de contaminación puede ser la producida por depósitos de hidróxidos de cal, para ello se utilizará ácido acético al 10%.

9.3 Mantenimiento del sensor de conductividad

El sensor de conductividad TetraCon 700 IQ funciona sin necesidad de mantenimiento. Pero si el sensor está altamente contaminado puede afectar a la exactitud de medición. Por lo tanto, se recomienda limpiar el sensor periódicamente.

Para limpiar el sensor no se recomienda desatornillar el cable de conexión del sensor, ya que la humedad y la suciedad pueden entrar en la conexión de enchufe donde pueden causar problemas de contacto. Si fuera necesaria la desconexión, antes de desconectar el sensor del cable de conexión SACIQ se retirará la contaminación externamente visual del sensor, particularmente en el área de la conexión de enchufe mediante un agua del grifo.

Cuando la contaminación es producida por sustancias solubles en agua, la limpieza se produce a través de agua del grifo. Por el contrario con grasas y aceites, los agentes de limpieza utilizados son agua tibia y detergente, y en caso de contaminación pesada: metiliación. Otro tipo de contaminación puede ser la producida por depósitos de hidróxidos de cal, para ello se utilizará ácido acético al 10%.

Capítulo 10

Conclusiones

10.1 Conclusiones

De los resultados obtenidos a lo largo de la realización del presente proyecto se puede concluir:

1. La determinación en continuo de parámetros de calidad de aguas permite una gran representatividad de las medidas, al poder promediar un número considerable de medidas. También permite realizar un seguimiento temporal de la evolución de cada parámetro.

2. El sistema IQ Sensor Net, al ser un sistema modular, ha demostrado una gran versatilidad en la medida de la calidad de aguas.

3. La respuesta de los sensores estudiados, conductividad, oxígeno disuelto y carbono, es extremadamente rápida, lo cual permite el seguimiento de los parámetros estudiados en tiempo real.

4. La estabilidad de las medidas, sobre todo en los casos de conductividad y carbono, es elevada.

5. La sensibilidad de los sensores es suficientemente alta como para poder apreciar pequeñas variaciones de las propiedades del agua y hacer un seguimiento de su evolución.

6. El montaje en línea realizado, permite la medida de los parámetros de conductividad, oxígeno disuelto y carbono, en cualquier montaje que se necesite, como por ejemplo en un reactor biológico de membranas, fotorreactor, etc., sin más que realizar una pequeña derivación del flujo del mismo.

7. El soporte diseñado permite sustituir los sensores estudiados por otros en caso de reposición o cambio de parámetro a medir. Al estar los diámetros de los sensores normalizados, permite el cambio de unos por otros, salvo en casos concretos como sería el sensor de turbidez que exige una geometría particular.



Bibliografía

- [1]. Manual del sensor IQ NET de WTW. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, 2005.
- [2]. Catálogo de sensores IQ NET de WTW. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, 2005.
- [3]. Catálogo de módulos y terminales de IQ Sensor Net de WTW. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, 2005.
- [4]. Raudel Ramos Olmos, Rubén Sepúlveda Marqués, Francisco Villalobos Moreto.: “El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis” (Plaza y Valdés Editores, Primera edición, 2003).
- [5]. S. Casanova Planes, T. Díez-Caballero Carmona, S. Craig, T. Díez-Caballero Arnau, J. Verdiell Cubedo.: “Monitorización en continuo de la calidad del agua” (Ingeniería química, ISSN 0210-2064, Nº. 414, 2004, páginas. 112-116).
- [6]. Tesis doctoral de Daniel Aguado García.: “Aplicación de métodos estadísticos multivariantes para la modelación y la monitorización de un reactor discontinuo secuencial para el tratamiento de aguas residuales” (Valencia, 2005).
- [7]. UNE 77004:2002: “Calidad del agua”.
- [8]. Página web: www.wikipedia.com. Accedido en Septiembre 2010.



Anexos

Anexo A: Catálogo de sondas de oxígeno disuelto de WTW

Se muestra un extracto del catálogo de sondas de oxígeno disuelto, del cual se ha obtenido los datos que se requieren para el desarrollo del proyecto.

Analog			Digital		
Datos técnicos					
TriOxmatic®	690/700 (SW*)/700 IN	701	700 IQ (SW*)	701 IQ	702 IQ
Intervalo de medición (25 °C) Concentración de O ₂	0,0 ... 60,0 mg/l	0,00 ... 20,00 mg/l 0,0 ... 60,0 mg/l	0,0 ... 60,0 mg/l	0,00 ... 20,0 mg/l 0,0 ... 60,0 mg/l	0 ... 2000 µg/l 0,00 ... 10,00 mg/l
Saturación de O ₂	0 ... 600% (depende del monitor seleccionado)	0,0 ... 200,0% 0 ... 600%	0 ... 600 %	0,0 ... 200,0 % 0 ... 600 %	0 ... 110%
Resolución Concentración de O ₂	0,1 mg/l	0,01 mg/l 0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,01 mg/l 0,1 mg/l	0,001 mg/l 0,01 mg/l
Saturación de O ₂	1%	0,1 % 1%	1%	0,1% 1 %	0,1%
Tiempo de reacción a 25 °C	t ₉₀ : 180 seg	t ₉₀ : 30 seg t ₉₀ : 90 seg	t ₉₀ : 180 seg	t ₉₀ : 30 seg t ₉₀ : 90 seg	t ₉₀ : 30 seg t ₉₀ : 110 seg
Flujo mínimo de entrada	0,05 m/seg	0,23 m/seg	0,05 m/seg	0,23 m/seg	0,3 m/seg
SensCheck	SensLeck (/UU/ /UUN) SensReg (700/700 SW)	SensLeck SensReg	SensLeck SensReg	SensLeck SensReg	– SensReg
Señal de salida	Análogica	Análogica	Digital	Digital	Digital
Memoria en la sonda para la lista de datos de calibración	–	–	sí	sí	sí
Consumo de energía	–	–	0,2 vatios	0,2 vatios	0,2 vatios
Medición de temperatura	NTC integrado, 23...122 °F (-5 °C...+50 °C)		NTC Integrado 23...140 °F (-5 °C...+60 °C)		
Compensación de temp.	32...122 °F (0 °C...+50 °C)		32...140 °F (0 °C...+60 °C)		
Presión máxima	10 bar		10 bar (incluyendo el cable de conexión de la sonda)		
Condiciones ambientales	Temperatura de funcionamiento: 0 °C ... +50 °C Temperatura de almacenamiento: -5 °C ... +50 °C		Temperatura de funcionamiento: 0 °C ... +60 °C Temperatura de almacenamiento: -5 °C ... +55 °C		
Conexión eléctrica	Cable de conexión PU integrado con enchufe de rosca de 7 pines (IP 65)		Cable bifilar blindado con cierre rápido en la sonda		
Alimentación eléctrica	A través del monitor		A través de IQ SENSOR NET		
Protección integrada contra rayos	Sí		Sí		
Compatibilidad electromagnética	EN 61326 Clase B, FCC Clase A		EN 61326 Clase B, FCC Clase A Alta inmunidad a interferencias (para equipos de uso indispensable)		
Marcas de verificación	CUL, UL		CE, cETLus		
Componentes mecánicos	Membrana-cabezal de sonda; cápsula de protección: POM Carcasa: acero inoxidable 1.4571 Clase de protección IP 68		Membrana-cabezal de sonda; cápsula de protección: POM Carcasa: acero inoxidable 1.4571 Clase de protección IP 68		
Dimensiones (longitud x diámetro)	199 x 40 mm Versión SW: 226 x 59,5 mm		360 x 40 mm, incl. la rosca de conexión del cable de conexión de la sonda SACIQ Versión SW: 360 x 59,5 mm		
Peso (sin el cable)	Aprox. 660 g; versión SW: aprox. 860 g		Aprox. 660 g; versión SW: aprox. 1.170 g		

Información para pedidos

		Referencia
TriOxmatic® 700-7	Sonda de O ₂ para aguas brutas/residuales; determinación de la aireación de oxígeno; longitud de cable 7,0 m	201 670
TriOxmatic® 690-7	Como el Modelo 700-7, pero sin función SensCheck; longitud de cable 7,0 m	201 690
TriOxmatic® 701-7	Sonda de OD para aguas brutas/residuales; determinación de la aireación de oxígeno/determinación del oxígeno residual; longitud de cable 7,0 m	201 678
TriOxmatic® 700 IN-7	Sonda de OD para aguas industriales fuertemente contaminadas; longitud de cable 7,0 m	201 695
TriOxmatic® 700 IQ	Sonda de OD para aguas brutas/residuales; determinación de la aireación de oxígeno	201 640
TriOxmatic® 701 IQ	Sonda de OD para aguas brutas/residuales; determinación de la aireación de oxígeno/determinación del oxígeno residual	201 644
TriOxmatic® 702 IQ	Sonda de OD, intervalo de medición de ppb; agua ultrapura/agua de alimentación de calderas	201 646
SACIQ-7,0	Cable de conexión de la sonda para todos los monitores IQ, longitud de cable 7,0 m	480 042
En la Lista de precios hallará información sobre otras longitudes de cables así como versiones especiales para agua marina o agua salobre		

Anexo B: Catálogo de sondas de carbono de WTW

Se muestra un extracto del catálogo de sondas de carbono, del cual se ha obtenido los datos que se requieren para el desarrollo del proyecto.

Datos técnicos

Principio de medición	Medición espectral en el intervalo de UV/luz visible de 200-750 nm	
	CarboVis® 700/5 IQ	NiCaVis® 700/5 IQ
Aplicaciones	Aguas residuales comunales: entrada, salida	
Intervalos de medición en el estándar (hidrogenitaato de potasio)	DQO: 0,1 ... 800,0 mg/l TOC: 1 ... 500,0 mg/l CAE: 0,1 ... 600,0 l/m	DQO: 0,1 ... 800,0 mg/l TOC: 1 ... 500,0 mg/l CAE: 0,1 ... 600,0 l/m NO ₃ -N: 0,01 ... 25,00 mg/l
Precisión de medición en el estándar	+3 % del valor medido +0,5 mg/l (con algoritmo de comprobación)	
Ámbito de medición de STD (opción)	Entrada: 0 ... 3000 mg/l Sólidos totales Salida: 0,0 ... 900,0 mg/l Sólidos totales	—
Materiales	Carcasa: Al Mg Si 1, anodizada (tratamiento anódico) Ventana de medición: cristal de zafiro	
Resistencia a la presión	±1 bar	
Condiciones ambientales	Temperatura de servicio: 0 °C ... +45 °C Temperatura de almacenamiento: -10 °C ... +50 °C	
Velocidad de flujo	±3 m/s	
Intervalos de pH	pH 4 ... pH 9	
Contenido de sal del medio	< 5000 mg/l (cloruro)	
Dimensiones	650 x 44 mm (longitud x diámetro máximo)	
Peso	aprox. 1,1 kg	

Información para pedidos

Todos los sensores con cable de 15 m y manguera de aire comprimido		Pedido Nº
CarboVis® 700/5 IQ	Sonda óptica DQO/TOC/DOC/DBO/CAE con evaluación espectral del ámbito de luz ultravioleta/luz visible; ancho de ranura 5 mm	481 025
CarboVis® 700/5 IQ TS	Como el CarboVis® 700/5 IQ; con medición adicional integrada de sólidos	481 026
NiCaVis® 700/5 IQ	Sonda óptica para la medición del nitrato y DQO/TOC/DOC/DBO/CAE, con evaluación espectral del ámbito de luz ultravioleta/luz visible; ancho de ranura 5 mm	481 027
MIQ/VIS	Módulo de conexión para el sensor de luz ultravioleta/luz visible; controla directamente el módulo de válvula para la limpieza con aire comprimido	481 029
MIQ/CHV	Módulo de válvula para la limpieza automática con aire comprimido	900 109
DIQ/CHV	Módulo de válvula para la limpieza automática con aire comprimido en el Sistema 182; puede controlarse mediante un relé del DIQ/S 182	472 007

Anexo C: Catálogo de sondas de conductividad de WTW

Se muestra un extracto del catálogo de sondas de conductividad, del cual se ha obtenido los datos que se requieren para el desarrollo del proyecto.

Analog			Digital	
Datos técnicos				
Celdas conductimétricas	TetraCon® 700 (SW**)	LRD 01	LRD 325	TetraCon® 700 IQ (SW**)
Principio de medición	Celda de medición de 4 electrodos	Celda de medición de 2 electrodos	Celda de medición de 4 electrodos	Celda de medición de 4 electrodos
Intervalo de medición	10 µS/cm ... 1000 mS/cm* SAL: 0 ... 70	0,01 ... 200 µS/cm	1 µS/cm ... 2 S/cm	10 µS/cm - 500 mS/cm SAL: 0 ... 70 TDS: 0 ... 2000 mg/l
Constante de celda	K = 0,917 cm ⁻¹ , ±1,5 % (en solución libre) K = 0,933 cm ⁻¹ , con armadura de paso EBST 700-DU/N	0,1 cm ⁻¹ , ±2%	0,475 cm ⁻¹ , ±1,5 %	K = 0,917 cm ⁻¹ , ±1,5 % (en solución libre) K = 0,933 cm ⁻¹ , con armadura de paso EBST 700-DU/N
Salida de señal	Analógica	Analógica	Analógica	Digital
Consumo de energía	—	—	—	0,2 vatio
Sonda de temperatura	NTC, integr. en la celda de medición	NTC, integr. en la celda de medición	NTC, integr. en la celda de medición	NTC, integrada
Medición de temp.	0 °C ... +50 °C, ±0,2 K	0 °C ... +130 °C, ±0,2 K	0 °C ... 100 °C, ±0,2 K	-5 °C ... +60 °C
Presión máxima	10 bar (a 20 °C)	14 bar (a 20 °C)	10 bar (a 20 °C)	10 bar
Conexión eléctrica	Cable de conexión PU integrado con enchufe de 7 polos con rosca (IP 65)			Cable blindado de 2 conductores con cierre rápido en la sonda
Marcas de verificación	CE, CUL, UL			CE, cETL, ETL
Componentes mecánicos	Cabezal sensor: PVC Carcasa: acero V4A 1.4571 Clase de protección: IP 68	Celda de medición: acero V4A 1.4571 Rosca: 1/2 pulgada NPT Clase de protección/ cabezal de electrodo: IP 68	Celda de medición: epoxi/grafito Rosca: acero V4A 1.4571 Clase de protección/ cabezal de electrodo: IP 68	Cabezal sensor: PVC Carcasa: acero fino V4A 1.4571 Clase de protección: IP 68
Dimensiones:	196 x 40 mm (longitud x diámetro)	133 x 25 mm (longitud x diámetro)	133 x 25 mm (longitud x diámetro)	357 x 40 mm (longitud x diámetro), incluye rosca de conexión del cable de conexión del sensor SACIQ)
Peso	Aproximadamente 660 g	Aproximadamente 350 g	Aproximadamente 300 g	Aproximadamente 660 g (sin cable)

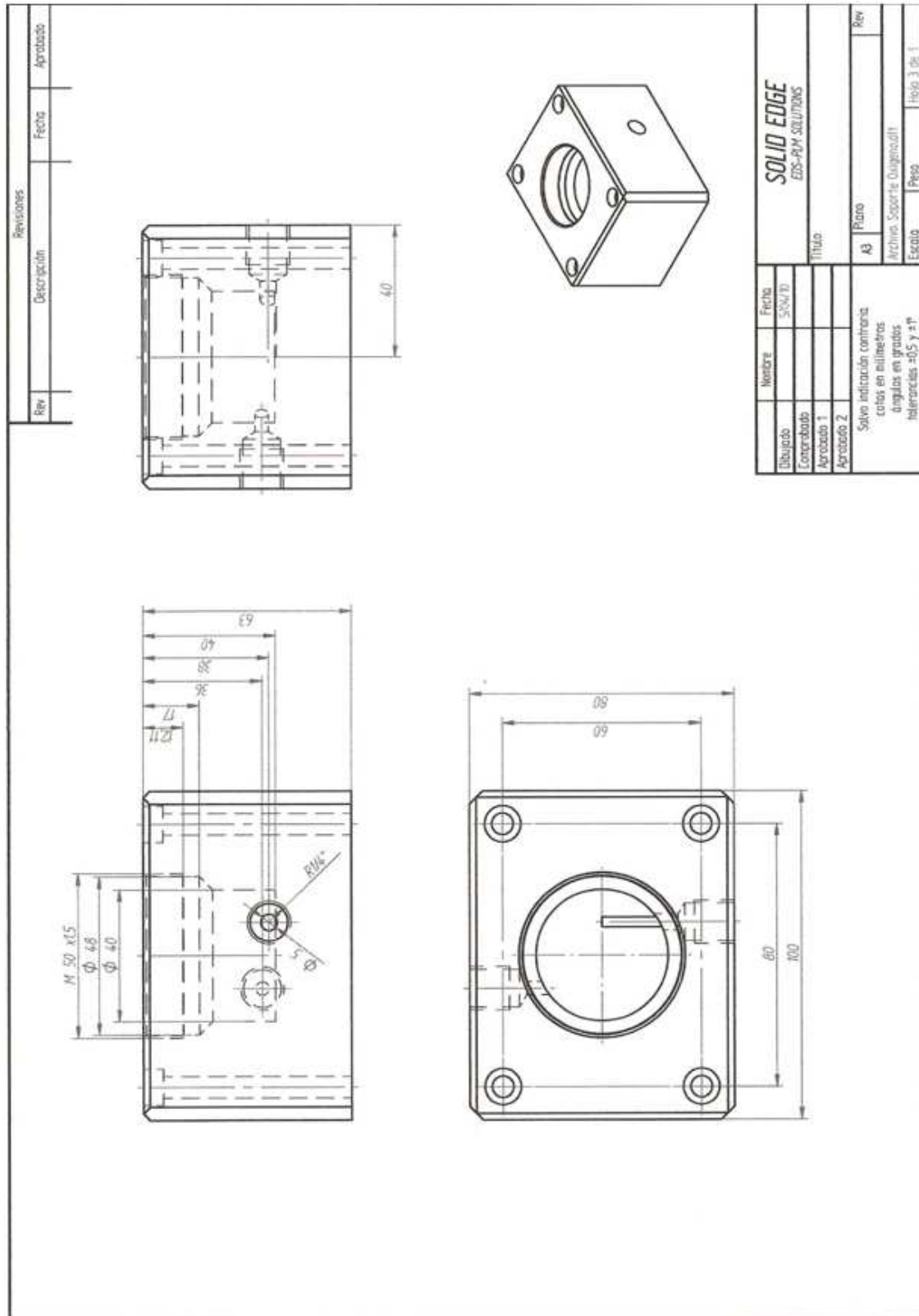
Celdas conductimétricas para aplicaciones especiales				
	TetraCon® 325	TetraCon® DU/T	LR 325/01	LR 325/001
Principio de medición	Celda de medición de 4 electrodos		Celda de medición de 2 electrodos	
Electrodo	Grafito	Grafito	Acero V4A (1.4571)	Acero V4A (1.4571)
Intervalo de medición	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$... 2 S/cm	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$... 2 S/cm	0,001 $\mu\text{S}/\text{cm}$... 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,0001 $\mu\text{S}/\text{cm}$... 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Constante de celda	$K = 0,475 \text{ cm}^{-1}$	$K = 0,778 \text{ cm}^{-1}$	$K = 0,1 \text{ cm}^{-1}$	$K = 0,01 \text{ cm}^{-1}$
Sonda de temperatura	Integrada		Integrada	
Medición de flujo	si, con recipiente de paso D 201	si	si, con recipiente de de paso D01/T	si, con recipiente de de paso integrado
Longitud	120 mm	155 mm	120 mm	120 mm

Información para pedidos de celdas conductimétricas

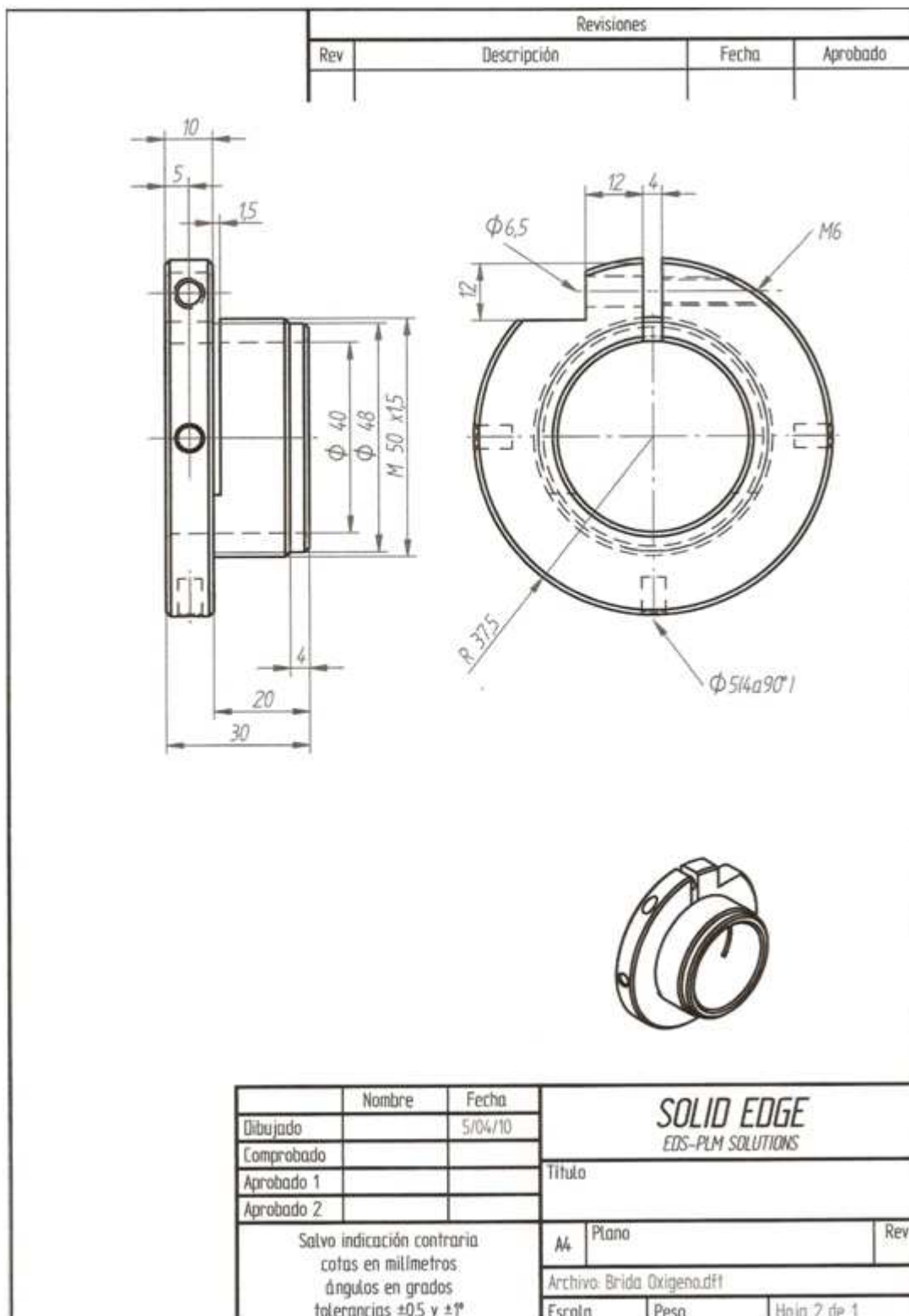
		Pedido Nº
TetraCon® 700-7	Celda conductimétrica para aguas brutas/aguas residuales, longitud de cable 7,0 m	302 316
LRD 01-7	Celda conductimétrica para agua de alimentación de calderas/intercambiador de iones, longitud de cable 7,0 m	302 222
LRD 325-7	Celda conductimétrica para aguas brutas/aguas onglituds, longitud de cable 7,0 m	302 229
TetraCon® 700 IQ	Celda conductimétrica para aguas brutas/aguas residuales	302 500
SACIQ-7,0	Cable de longitud de sensores para todos los sensores IQ, longitud de cable 7,0 m	480 042

En la Lista de precios se incluyen otras longitudes de cables así como versiones especiales para agua marina o agua salobre y accesorios

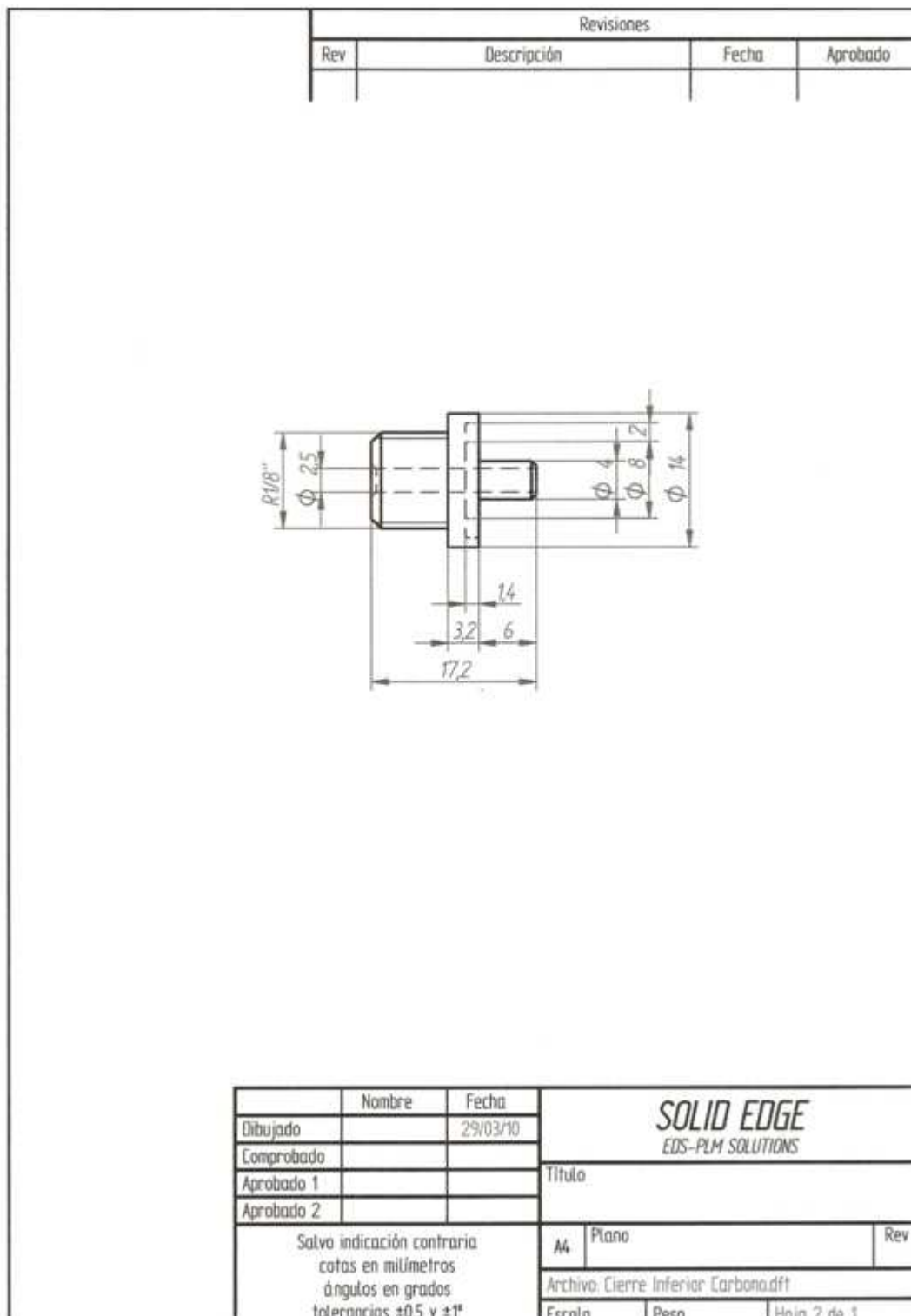
Anexo D: Plano de la caja de muestras del sensor de oxígeno



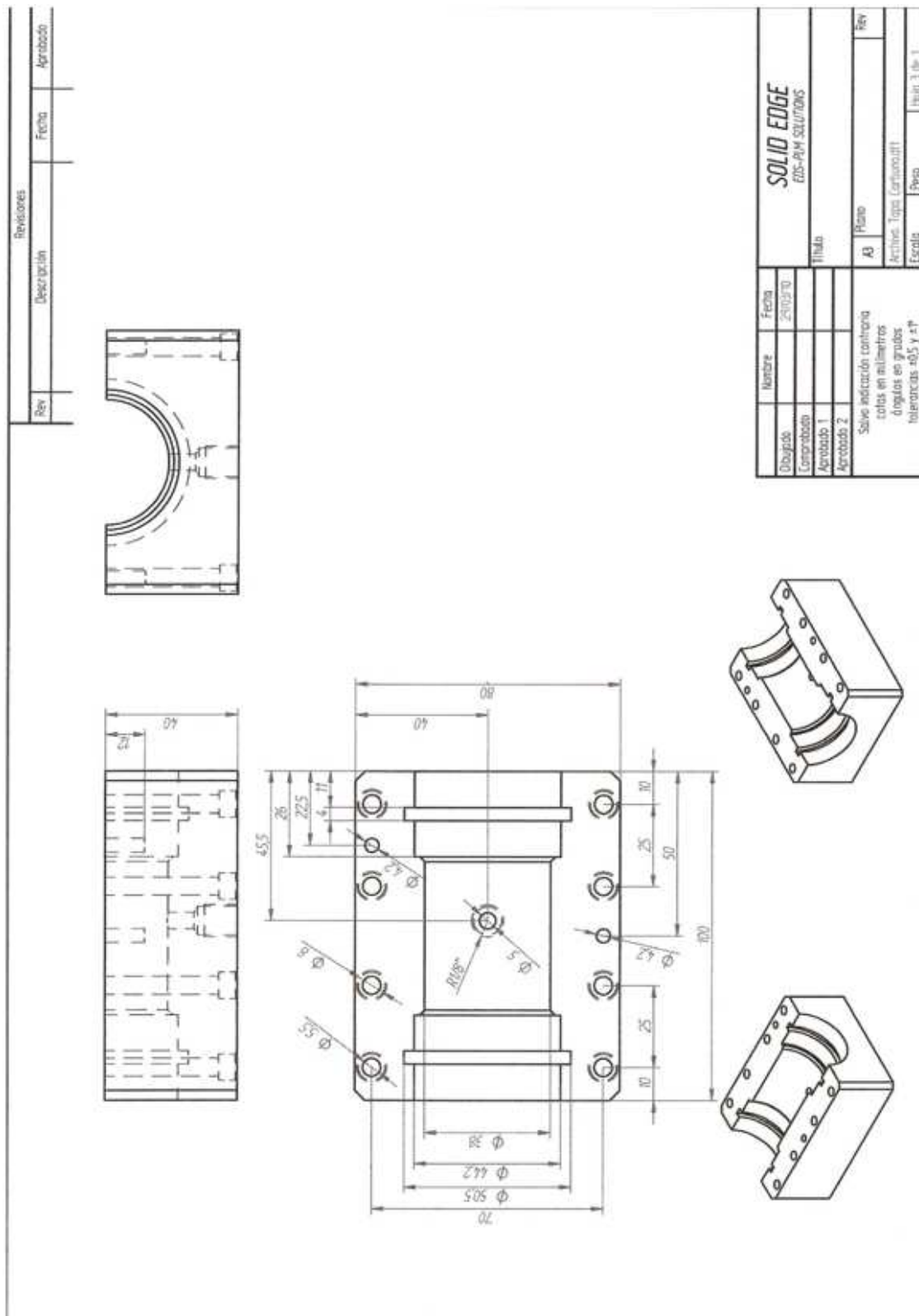
Anexo E: Plano de la brida del sensor de oxígeno



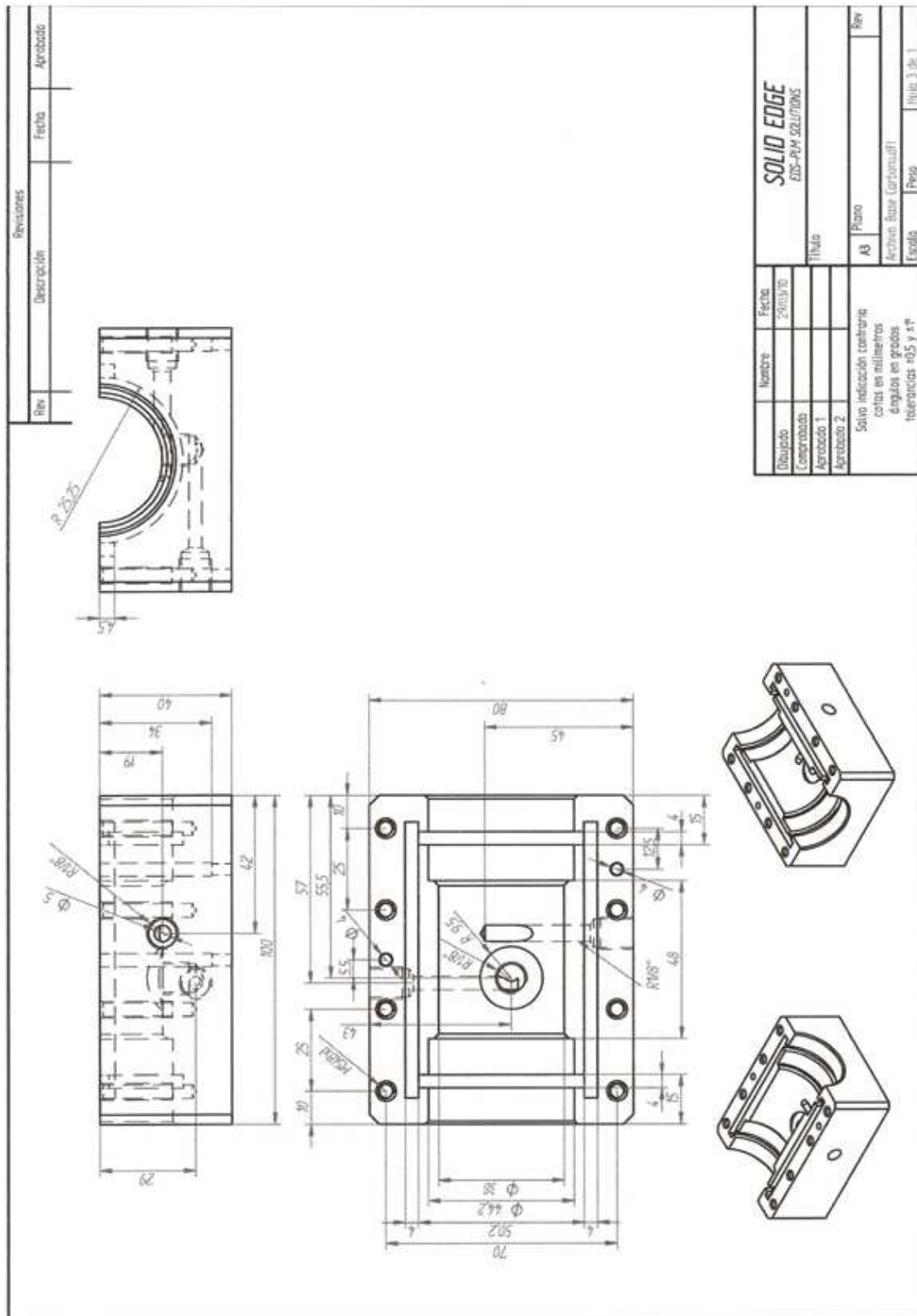
Anexo F: Plano del cierre inferior del sensor de carbono



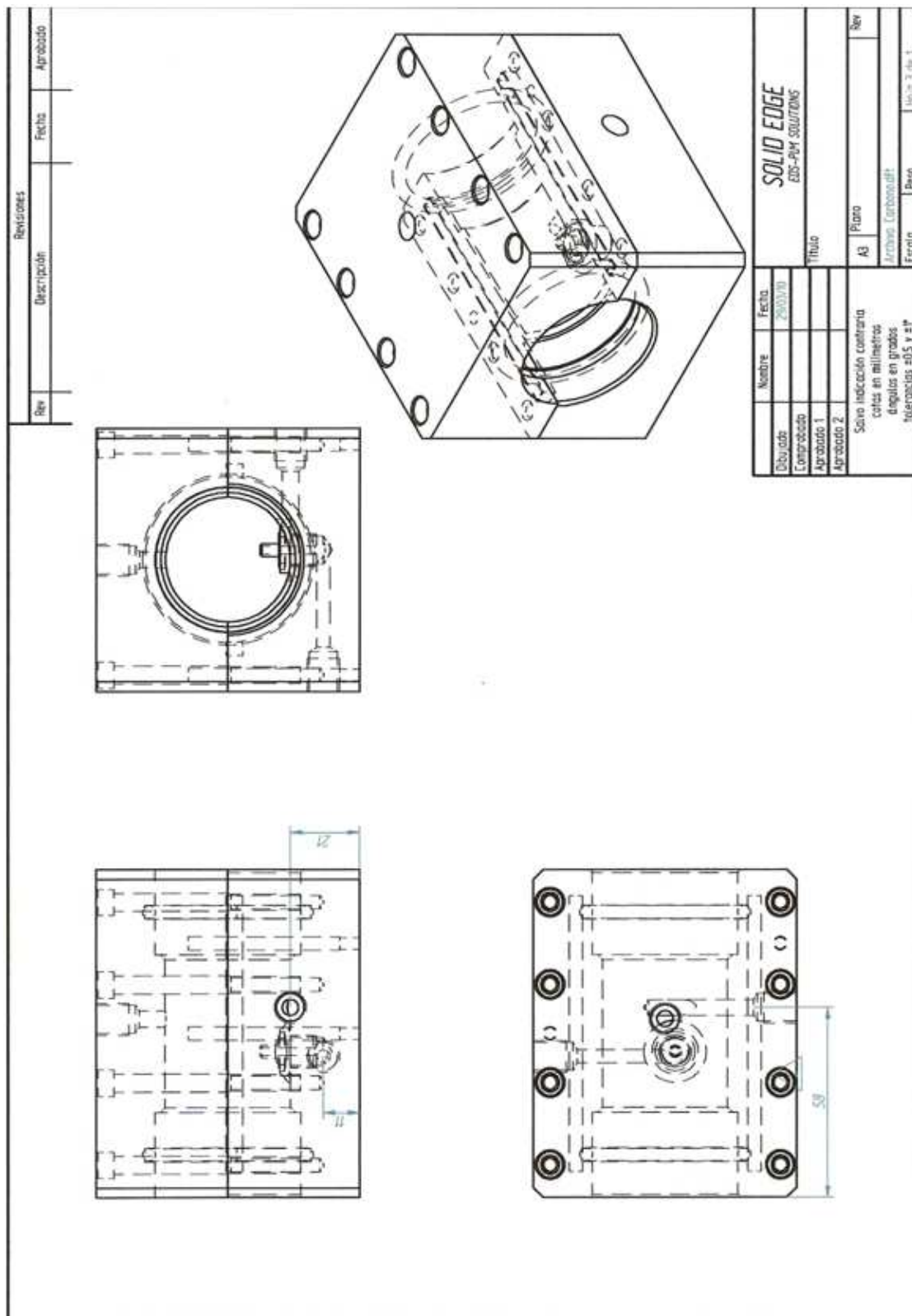
Anexo G: Plano de la tapa del sensor de carbono



Anexo H: Plano de la base del sensor de carbono



Anexo I: Plano de la caja de muestras del sensor de carbono



Anexo J: Muestras para el agua destilada

Conductividad (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
0,0384795	8,261
0,0384811	8,258
0,0384951	8,253
0,0385057	8,244
0,0385111	8,259
0,038522	8,257
0,0385223	8,256
0,0385261	8,254
0,0385356	8,251
0,0385497	8,245
0,0385515	8,237
0,0385585	8,252
0,0385607	8,249
0,038569	8,248
0,0385855	8,245
0,0385901	8,242
0,0385964	8,236
0,0386045	8,228
0,038612	8,242
0,0386121	8,240
0,0386222	8,239
0,0386246	8,236
0,0386307	8,233
0,0386439	8,227
0,0386452	8,219
0,0386474	8,233
0,0386496	8,231
0,0386499	8,230
0,0386641	8,228
0,0386712	8,224
0,0386725	8,219
0,0386816	8,211
0,0386845	8,224
0,0386875	8,223
0,0386957	8,221
0,038704	8,219
0,0387162	8,217
0,0387193	8,211

0,0387322	8,205
0,0387336	8,216
0,0387342	8,215
0,0387367	8,213
0,038746	8,210
0,0387526	8,207
0,0387557	8,202
0,0387595	8,194
0,038766	8,207
0,0387674	8,205
0,0387685	8,204
0,0387938	8,202
0,0387941	8,199
0,0387961	8,193
0,0388095	8,185
0,038812	8,198
0,0388134	8,197
0,0388259	8,195
0,0388381	8,193
0,0388401	8,190
0,0388495	8,185
0,0388575	8,178
0,0388583	8,190
0,03886	8,189
0,0388601	8,188
0,038861	8,185
0,0388678	8,182
0,0388694	8,176
0,038872	8,170
0,0388774	8,182
0,0388794	8,181
0,0388836	8,179
0,0388845	8,177
0,0388888	8,174
0,0388907	8,168
0,0388959	8,161
0,038897	8,174
0,0389047	8,172
0,0389067	8,171
0,0389089	8,168
0,0389103	8,165
0,038923	8,167

0,0389246	8,153
0,0389282	8,165
0,0389499	8,163
0,0389505	8,161
0,0389538	8,159
0,0389573	8,157
0,0389842	8,152
0,0389884	8,147
0,0389956	8,157
0,0390007	8,156
0,0390096	8,154
0,039022	8,152
0,0390262	8,148
0,0391254	8,143
0,0396144	8,261

Anexo K: Muestras para el agua del grifo

Conductividad (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
0,110583	7,056
0,110705	7,093
0,110923	7,032
0,110968	7,023
0,111014	7,046
0,111037	7,183
0,111084	7,171
0,111113	7,052
0,111194	7,102
0,111239	7,026
0,11126	7,013
0,111361	7,095
0,111365	7,079
0,111385	7,011
0,111398	7,092
0,111411	7,062
0,111423	7,079
0,111493	7,077
0,111579	7,056
0,111613	7,037
0,111646	7,081
0,111667	7,061
0,111682	7,059
0,111768	7,184
0,111786	7,079
0,11179	7,076
0,111801	7,173
0,111821	7,185
0,111846	7,185
0,111849	7,189
0,111851	7,092
0,111852	7,199
0,111865	7,099
0,111926	7,199
0,111959	7,097
0,111975	7,091
0,111985	7,114
0,111987	7,095

0,111993	7,085
0,112033	7,129
0,112042	7,122
0,112044	7,146
0,112048	7,093
0,112054	7,197
0,112056	7,197
0,112066	7,194
0,112098	7,095
0,112106	7,156
0,112113	7,073
0,112121	7,062
0,112132	7,123
0,112132	7,096
0,11215	7,183
0,112152	7,101
0,112161	7,052
0,112189	7,102
0,112227	7,026
0,112233	7,013
0,11228	7,095
0,112295	7,079
0,112338	7,011
0,112356	7,092
0,112381	7,022
0,112409	7,002
0,112458	7,077
0,112466	7,056
0,112485	7,037
0,112515	7,081
0,112534	7,061
0,112535	7,059
0,112547	7,184
0,112558	7,079
0,112597	7,076
0,112617	7,173
0,112629	7,185
0,11263	7,605
0,112651	7,179
0,112685	7,062
0,112695	7,199
0,112756	7,079

0,112773	7,097
0,112775	7,091
0,112782	7,114
0,112839	7,097
0,112882	7,058
0,112882	7,029
0,112935	7,192
0,112958	7,158
0,112975	7,036
0,113044	7,125
0,113068	7,196
0,113121	7,185
0,113146	7,195
0,113161	7,159

Anexo L: Muestras para el agua residual

Conductividad (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	DQO (mg/L)	
0,617667	6,756	0,000	OFL
0,617734	6,775	286,773	Valid
0,617735	6,770	286,509	Valid
0,617752	6,764	287,965	Valid
0,617758	6,770	0,000	OFL
0,617774	6,782	0,000	OFL
0,617774	6,771	0,000	OFL
0,617774	6,757	0,000	OFL
0,617774	6,780	0,000	OFL
0,617785	6,775	288,947	Valid
0,617791	6,774	289,388	Valid
0,617791	6,772	289,906	Valid
0,617791	6,765	0,000	OFL
0,617808	6,759	0,000	OFL
0,617814	6,746	0,000	OFL
0,61782	6,786	0,000	OFL
0,617825	6,779	291,335	Valid
0,617831	6,758	0,000	OFL
0,617842	6,756	289,345	Valid
0,617848	6,752	0,000	OFL
0,617848	6,749	0,000	OFL
0,617848	6,736	290,281	Valid
0,617853	6,754	0,000	OFL
0,617859	6,734	289,735	Valid
0,61787	6,760	0,000	OFL
0,61787	6,754	284,700	Valid
0,617882	6,750	0,000	OFL
0,617882	6,739	284,413	Valid
0,617882	6,724	284,353	Valid
0,617887	6,746	287,209	Valid
0,617893	6,754	288,110	Valid
0,617893	6,749	285,076	Valid
0,617905	6,748	285,981	Valid
0,617905	6,736	0,000	OFL
0,617905	6,735	287,166	Valid
0,617938	6,718	0,000	OFL
0,617944	6,728	286,772	Valid
0,617944	6,734	283,193	Valid

0,617977	6,735	285,374	Valid
0,617978	6,727	283,031	Valid
0,617978	6,713	286,981	Valid
0,617983	6,720	285,821	Valid
0,617988	6,703	285,648	Valid
0,61799	6,725	283,349	Valid
0,617995	6,724	0,000	OFL
0,617995	6,727	0,000	OFL
0,618012	6,720	285,225	Valid
0,618017	6,710	285,503	Valid
0,618023	6,714	286,542	Valid
0,61804	6,705	284,558	Valid
0,618052	6,717	282,867	Valid
0,618074	6,720	285,582	Valid
0,618096	6,718	285,039	Valid
0,618096	6,713	284,768	Valid
0,618101	6,707	286,312	Valid
0,618106	6,700	285,634	Valid
0,618108	6,687	281,508	Valid
0,618114	6,703	279,671	Valid
0,618131	6,705	279,288	Valid
0,618142	6,700	280,484	Valid
0,618153	6,708	279,201	Valid
0,618159	6,688	281,970	Valid
0,618164	6,693	282,554	Valid
0,618181	6,683	278,760	Valid
0,618181	6,701	278,320	Valid
0,618187	6,707	278,602	Valid
0,61822	6,701	280,509	Valid
0,618227	6,705	280,766	Valid
0,618243	6,700	279,670	Valid
0,618243	6,679	283,123	Valid
0,618248	6,670	282,418	Valid
0,618282	6,688	282,540	Valid
0,618283	6,694	281,995	Valid
0,61831	6,688	282,058	Valid
0,618311	6,693	280,802	Valid
0,618333	6,679	281,828	Valid
0,618344	6,686	281,663	Valid
0,618361	6,678	283,114	Valid
0,618368	6,691	283,098	Valid
0,618373	6,690	281,467	Valid

0,618402	6,676	283,066	Valid
0,618435	6,685	283,391	Valid
0,618441	6,680	281,878	Valid
0,618475	6,675	282,819	Valid
0,618492	6,657	282,514	Valid
0,618497	6,658	283,594	Valid
0,618509	6,658	284,323	Valid
0,618514	6,657	282,765	Valid
0,618543	6,651	284,571	Valid
0,618565	6,671	282,598	Valid
0,618571	6,658	279,131	Valid
0,618587	6,656	279,595	Valid
0,618617	6,668	280,891	Valid

Anexo M: Muestras para distintos valores de DQO

DQO = 62 mg/L	DQO = 126 mg/L	DQO = 140 mg/L
63,995	130,846	143,33
63,686	130,584	143,228
63,478	130,166	142,632
63,086	130,07	142,62
63,004	130,011	142,545
62,995	129,906	142,527
62,955	129,682	142,342
62,955	129,553	142,315
62,955	129,393	142,289
62,955	129,333	142,178
62,953	129,253	142,168
62,935	129,208	142,156
62,883	129,16	142,106
62,883	129,097	142,07
62,881	129,072	142,061
62,881	129,01	142,013
62,881	128,882	141,987
62,881	128,879	141,823
62,868	128,864	141,806
62,868	128,757	141,679
62,848	128,755	141,651
62,848	128,717	141,628
62,806	128,666	141,627
62,773	128,599	141,598
62,773	128,595	141,589
62,686	128,594	141,587
62,686	128,579	141,566
62,616	128,537	141,556
62,606	128,514	141,479
62,603	128,419	141,459
62,526	128,406	141,418
62,526	128,396	141,377
62,478	128,38	141,348
62,478	128,308	141,299
62,443	128,274	141,209

62,443	128,245	141,145
62,443	128,196	141,019
62,397	128,172	140,979
62,397	128,067	140,973
62,395	128,035	140,964
62,347	127,894	140,95
62,164	127,778	140,934
62,164	127,751	140,883
62,094	127,706	140,868
62,005	127,69	140,822
62,004	127,564	140,778
61,995	127,547	140,709
61,995	127,535	140,684
61,968	127,53	140,683
61,937	127,517	140,609
61,935	127,474	140,584
61,881	127,426	140,581
61,868	127,363	140,541
61,848	127,354	140,523
61,848	127,271	140,449
61,773	127,206	140,446
61,606	127,162	140,377
61,526	127,16	140,368
61,517	127,148	140,317
61,478	127,115	140,271
61,478	127,006	140,218
61,443	126,992	140,207
61,164	126,986	140,202
61,035	126,983	140,198
60,773	126,965	140,162
60,773	126,964	140,119
60,587	126,964	140,118
60,526	126,926	140,113
60,307	126,912	140,107
60,164	126,907	139,924
59,947	126,887	139,897
59,885	126,82	139,876
59,792	126,81	139,773
59,715	126,776	139,769

59,503	126,77	139,757
59,491	126,742	139,747
59,447	126,688	139,652
59,383	126,667	139,54
59,353	126,552	139,492
59,335	126,511	139,467
59,296	126,493	139,44
59,237	126,438	139,44
59,12	126,433	139,434
59,106	126,411	139,402
59,054	126,39	139,186
59,048	126,206	139,121
58,683	126,132	139,121
58,374	126,068	139,066
58,242	126,002	138,788
58,233	125,756	138,769
58,221	125,704	138,623
58,057	125,678	138,496
58,037	125,616	138,378
57,775	125,36	138,184